

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra Elektroenergetiky

**Posouzení technických parametrů teplárenského generátoru a návrh
optimalizace provozu.**

Optimalization of Heating Plant Generator Operation.

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Ondřej Sulek**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: Posouzení technických parametrů teplárenského generátoru a návrh optimalizace provozu.
Optimalization of Heating Plant Generator Operation.

Zásady pro vypracování:

Teplárenské generátory, základní parametry a teoretická východiska.
Vícekritériální posouzení současného stavu.
Návrh optimalizace provozu.

Seznam doporučené odborné literatury:


Podle pokynů vedoucího bakalářské práce

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Bernat, Ph.D.**


Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014



prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry





prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny použité literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.



.....

Podpis

Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských programech VŠB-TU Ostrava.

6.5.2014

Datum

Marek 14

Podpis

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Petru Bernátovi, Ph.D. za jeho vstřícný přístup, cenné rady a připomínky, které mi pomohly k dokončení mé práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Vladimíru Widurovi za spolupráci, cenné rady a připomínky při tvorbě bakalářské práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na posouzení technických parametrů teplárenského generátoru instalovaného ve společnosti ArcelorMittal Energy Ostrava a.s. z roku 1997 a posouzení parametrů modernizovaného generátoru stejného typu, kterou provedla firma BRUSH SEM s.r.o. v roce 2012. V teoretické části této práce jsou uvedeny základní principy funkce synchronního stroje, zejména se však bude práce věnovat synchronním generátorům, neboli alternátorům a dále popisu základní části alternátoru. V praktické části této práce jsou posuzovány parametry generátoru před provedením modernizace a po provedení modernizace. V závěru této práce jsou uvedeny základní rozdíly generátoru po provedení modernizace.

Klíčová slova

Synchronní alternátor, turboalternátor, výkonové parametry, posouzení parametrů, modernizace, zlepšení.

Abstract

This work is focused on the assessment of the technical parameters of the heating plant generator installed at ArcelorMittal Energy Ostrava a.s. in 1997 and assessment parameters modernized generator of the same type carried out by the company BRUSH SEM s.r.o. in 2012. In the theoretical part of this work are basic principles of synchronous machines, in particular, it will discuss synchronous generators, or alternators and basic description of the alternator. In the practical part of this thesis are evaluated parameters of the generator before making upgrading and after upgrading. In conclusion, this work provides basic differences generator after upgrading.

Keywords

Synchronous alternator, turbo alternator, power parameters, assessment parameters, modernization, improvement.

Obsah

1	Úvod.....	2
2	Synchronní stroje	3
2.1	Rozdělení synchronních generátorů.....	3
2.2	Konstrukční uspořádání synchronních strojů.....	4
2.3	Princip funkce synchronního stroje.....	7
2.4	Provoz synchronních generátorů.....	9
3	Profil společnosti.....	13
4	Základní popis modernizovaného turboalternátoru.....	16
4.1	Technická data synchronního alternátoru	16
4.2	Popis konstrukčního řešení turboalternátoru.....	18
4.3	Dispozice turboalternátoru s okružním chlazením vzduchu	21
5	Modernizace původní generátoru.....	23
5.1.1	Modernizace základních částí stroje	23
5.2	Zkoušky modernizovaného generátoru	23
5.2.1	Magnetizační zkouška statoru detektorem vad elektromagnetického jádra	23
5.2.2	Diagnosticke měření teplotního stavu stroje	23
5.2.3	Kontrola hřídelového a ložiskového napětí.....	24
5.2.4	Měření izolačního odporu vinutí statoru	25
5.2.5	Měření vibrací ložisek při jmenovitém zatížení	27
6	Optimalizace provozu	29
7	Závěr	33
8	Použitá literatura	34
9	Přílohy:.....	35

1 Úvod

Tato bakalářská práce je zaměřena na provozování teplotního generátoru v hutní společnosti ArcelorMittal Ostrava a.s. Práce řeší problémy, které jsou úzce spjaty s problematikou provozu synchronního turboalternátoru v náročném prostředí s vysokou prašností.

V práci bude popsán postup modernizace původního generátoru puštěného do provozu roku 1997, kterou provedla firma BRUSH SEM s.r.o., která navazuje na tradici výroby generátorů pod značkou ŠKODA. Dále tato práce bude popisovat postup, jak byl modernizovaný turboalternátor spuštěn do provozu. To znamená, že zde budou popsány jednotlivé zkoušky a diagnostická měření stroje.

V teoretické části se práce zabývá základními principy synchronních strojů, zejména se však bude věnovat synchronním generátorům. Budou zde popsány základní konstrukční prvky stroje nebo také princip funkce synchronního generátoru.

V praktické části této práce je uvedena bližší specifikace daného turboalternátoru před provedením modernizace. Jsou zde uvedeny vybrané části stroje, které prošly modernizací. V této práci bude řešen návrh optimalizace pro provoz generátoru v hutní společnosti.

2 Synchronní stroje

Synchronní stroj je střídavý točivý elektrický stroj, jehož frekvence svorkového napětí je úměrná otáčkám rotoru. Jsou vyráběny ve velkém rozsahu výkonu od zlomku wattů až po stovky megawattů. Nejčastěji se používají pro přeměnu mechanické energie na elektrickou energii, jedná se tedy o třífázové synchronní generátory neboli alternátory. Jedná se o téměř výhradní stroje vyrábějící elektrickou energii. Synchronní alternátory patří mezi největší točivé elektrické stroje, vyrábějí se pro výkony dosahující tisíce megawattů. V současné době je výkon těchto strojů omezen mechanickou pevností materiálů, a také možnostmi přepravy. Synchronní elektrické stroje mohou také pracovat jako motory s potřebou konstantních otáček, nebo jako synchronní kompenzátory pro kompenzaci účinníku. [1]

2.1 Rozdělení synchronních generátorů

Synchronní generátory můžeme dále rozdělit podle způsobu použití, a to na turboalternátory, hydroalternátory a kompenzátory.

2.1.1 Turboalternátory

Tyto alternátory jsou využívány hlavně v tepelných elektrárnách a jsou poháněné parními turbínami. Jedná se většinou o dvoupólové nebo čtyřpólové stroje. Mají malý průměr a značnou délku.

2.1.2 Hydroalternátory

Hydroalternátory jsou využívány pro provoz vodních elektráren. Jedná se o stroje, které mají mnoho pólů, mají velký průměr a malou délku.

2.1.3 Kompenzátory

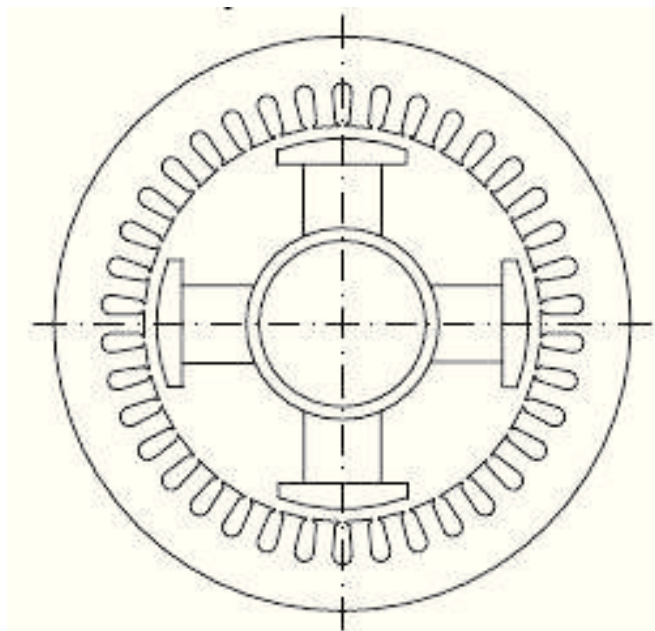
Jelikož jsou synchronní generátory zdrojem jak činné, tak jalové energie používají se pro kompenzaci jalové energie v síti. Takto používaný stroj odebírá ze sítě činnou energii na pokrytí svých ztrát a do sítě dodává jalovou energii. [1]

2.2 Konstrukční uspořádání synchronních strojů

Synchronní stroje se skládají ze statoru, rotoru a budiče. Stator je v podstatě stejný jako stator asynchronního motoru. Do svařované kostry je vložen svazek statorových plechů, které jsou buď v celku, nebo poskládány z jednotlivých segmentů. Na vnitřním průměru těchto plechů jsou drážky, v nichž jsou uložena třífázová vinutí. Konce vinutí jsou vyvedeny na svorkovnici.

Konstrukční uspořádání rotoru nám synchronní stroje rozděluje do dvou základních skupin. Jednou z nich jsou stroje s rotorem s vyniklými, neboli vyjádřenými póly. Druhou skupinu pak tvoří stroje s hladkým rotorem. [7]

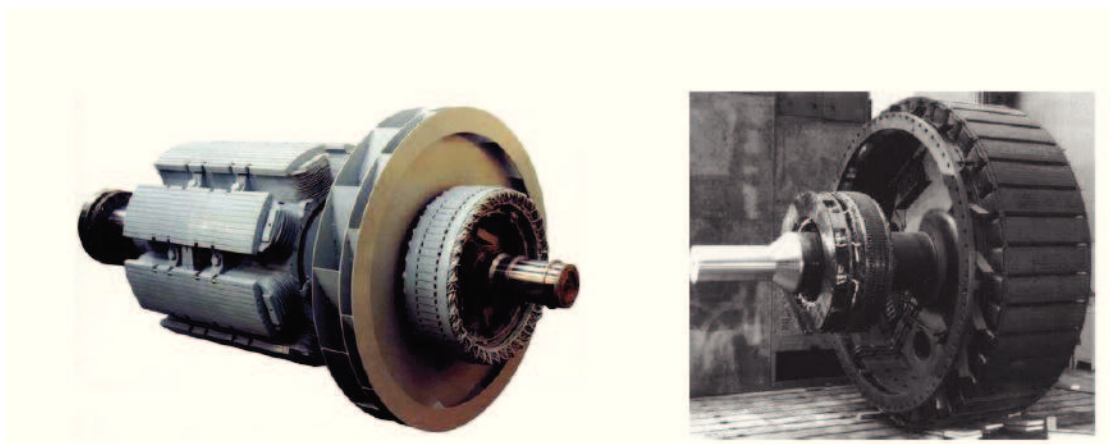
2.2.1 Rotor s vyniklými póly



Obr. 1.1 Schématické znázornění stroje s vyniklými póly.

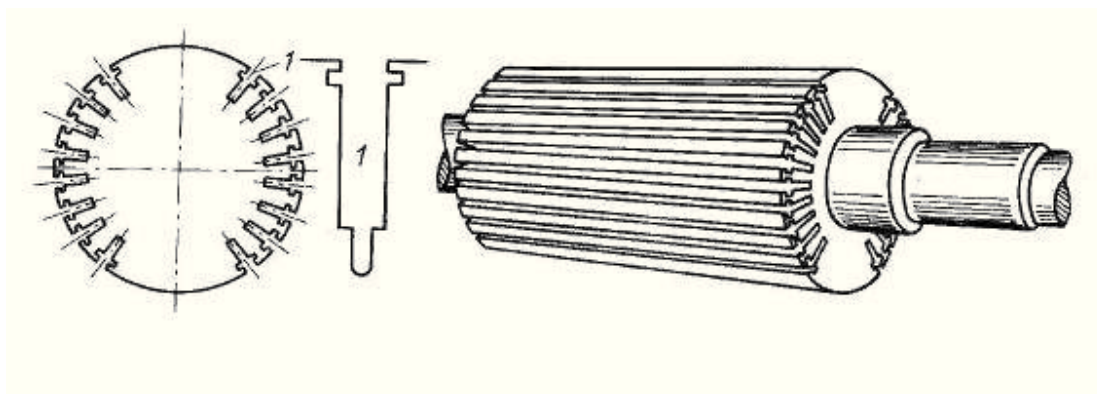
Na obrázku 1.1 je schématické zobrazení stroje s vyniklými póly. Stroje s vyniklými póly mají rotor tvořený hřídelí, na níž je magnetové kolo s příslušným počtem pólu (4-36). Póly s pólovými nástavci jsou rozmístěny pravidelně na obvodu rotoru. Budicí vinutí je tvořeno cívkami, které jsou nasunuty na jádra pólů. Poloměr zaoblení pólových nástavců je menší než poloměr vnitřní strany statoru, to zajišťuje téměř sinusový průběh magnetické indukce ve vzduchové mezeře. Magnetové kolo může být buď z jednoho kusu oceli, tedy odlitek, nebo může být listové, to je, složeno z ocelových plechů. Budicí vinutí je napájeno stejnosměrným proudem přes dva kroužky. Zdrojem tohoto stejnosměrného proudu bývala dříve používaná dynamo, v dnešní době jsou převážně používány tyristorové měniče. Hlavní výhodou těchto

měníčů je to, že mohou být umístěny přímo na rotor, čímž docílíme odstranění kluzný kontakt kroužek – kartáč, který není vždy spolehlivým prvkem stroje. [1,7,9]



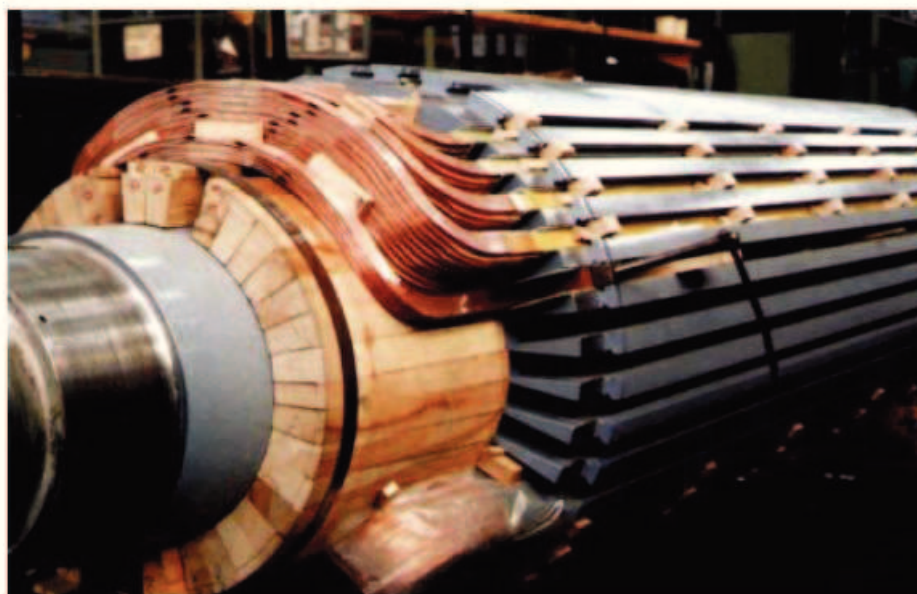
Obr. 1.2.: Rotor s vyniklými póly a budičem na hřídeli

2.2.2 Hladký rotor



Obr. 1.3.: Schématické znázornění stroje s hladkým rotorem.

Synchronní alternátory jsou téměř výhradně dvoupólové a jsou poháněny parními turbínami, které se často označují jako turboalternátory. U strojů s hladkým rotorem je kvůli velkým rychlostem a rozměrům těchto strojů kladen velký důraz na mechanickou pevnost použité oceli, konstruují se s malým průměrem a velkou osovou délkou. Rotor je vykován z jednoho kusu legované oceli (chromniklová ocel s příměsí molybdenu). Budící vinutí je uloženo v drážkách vyfrézovaných ve válcovém těle rotoru, jedná se o soustředné vinutí, které vyplňuje celou drážku. Z pravidla jsou drážky na dvou třetinách obvodu a jedna třetina obvodu je bez drážek. Můžeme se však setkat i s rotory, které mají drážky po celém obvodu rotoru. [1,7,9]



Obr. 1.4 Provedení hladkého rotoru s vinutím.

[7]

2.2.3 Buzení synchronního stroje

Buzení stroje slouží k napájení budícího vinutí rotoru, a tím k vytvoření potřebného magnetického pole. Podle uložení budícího systému můžeme synchronní stroje rozdělit na tyto skupiny:

- Synchronní stroje s budícím vinutím ve statoru
- Budící proud se přivádí do rotoru přes kartáče dosedající na kroužky
- Synchronní stroje s budícím vinutím v rotoru – nejčastější, protože odpadá nutnost kontaktního styku přes kartáče a kroužky a také zůstává více místa ve statoru na aktivní vinutí.

Je-li budící proud vyroben přímo v synchronním stroji, mluvíme o vlastním buzení. Pokud je však buzen jiným zdrojem, jako například akumulátorovou baterií nebo přímo ze sítě přes usměrňovače, hovoříme o cizím buzení.

2.2.4 Další možnosti konstrukce stroje

Synchronní stroje mohou být uspořádány také obráceně. To znamená, že magnety jsou umístěny na statoru a kotevní vinutí na rotoru, jako u stejnosměrných strojů. Toto zapojení se však provádí pouze u malých strojů. Protože synchronní stroje jsou většinou vyráběny pro

vysoká napětí (od 6 do 35kV) je výhodnější uspořádání, které bylo popsáno v kapitolách 1.2.1 a 1.2.2. [1]

2.2.5 Chlazení synchronní strojů

Podle způsobu chlazení můžeme synchronní stroje rozdělit na stroje chlazené vzduchem, vodíkem nebo vodou, popřípadě jejich kombinací. Druh chlazení se volí podle velikosti stroje a ztrát stroje.

2.3 Princip funkce synchronního stroje

Základním rozdílem, oproti asynchronním strojům je ten, že rotorové vinutí napájíme z cizího zdroje, obvykle proudem o frekvenci 0Hz, tedy stejnosměrným proudem. Vinutí je napájeno přes kartáče a kroužky. Tento stejnosměrný příkon dodaný do obvodu rotorového vinutí se celý spotřebuje na ztráty v tomto vinutí, ale vybudí v magnetickém obvodu stroje magnetické pole.

Toto magnetické pole vybuze v rotorovém vinutí se při otáčení rotorem otáčí shodně jako rotor stálými otáčkami, které můžeme vyjádřit pomocí vzorce:

$$n_1 = n_s = \frac{60 \cdot f_1}{p} \quad (1.1)$$

Toto pole indukuje napětí v jedné fázi ve vinutí statoru, které můžeme vyjádřit jako:

$$U_{1f} = 4,44 \cdot \phi \cdot N_1 \cdot f_1 \cdot k_{V1} \quad (1.2)$$

Kde ϕ vyjadřuje velikost magnetické toku v rozmezí jedné pólové rozteče.

Předpokládáme, že časový průběh napětí by měl být sinusový. Tento předpoklad bude splněn, pokud je také prostorové rozložení magnetické indukce ve vzduchové mezeře sinusové. To však nebývá přesně splněno a proto musíme zvolit vhodný tvar pólového nástavce, s nímž se bude skutečný průběh magnetické indukce blížit sinusovému průběhu. Pokud vhodně zvolíme rozložení vinutí do drážek, zvláště pak vinutí zlomkových s vhodně zkráceným krokem (přibližně 80% pólové rozteče) docílíme sinusového průběhu napětí v závislosti na čase, i tehdy není-li rozložení magnetické indukce ve vzduchové mezeře přesně

sinusové. Pro odstranění třetí harmonické a jejích násobků ve sdruženém napětí se vinutí trojfázového generátoru zapojují do hvězdy. [8]

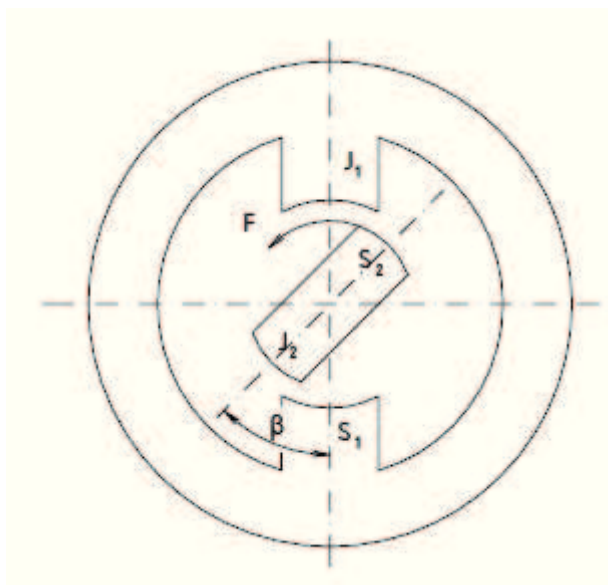
V synchronním stroji se vyskytují dvě magnetická napětí. Jedno, které je vybuzeo za pomoci více fázových proudů, a druhé vybuzeo stejnosměrným proudem v rotoru.

Pokud budeme uvažovat synchronní stroj pracující jako generátor naprázdno, magnetické pole magnetů obíhá s póly rotoru rychlostí, která je konstantní a indukuje ve vinutí statoru indukované napětí,

$$u_i = b \cdot l \cdot v \quad (1.3)$$

které je úměrné okamžité hodnotě magnetické indukce o frekvenci.

$$f = \frac{p \cdot n}{60} \quad (1.4)$$



Obr. 1.5.: Vzájemné působení permanentních magnetů

Pokud však stroj zatížíme, protékající třífázový proud vytvoří své vlastní kruhové točivé magnetické pole, jehož otáčky jsou shodné s otáčením pole magnetů rotoru, tedy jsou synchronní – odtud vychází i název synchronní stroje. Ani při změně zatížení se synchronní rychlost otáčení nezmění, magnetická pole se však proti sobě jinak posunou. Tato magnetické

pole se k sobě přitahují stejně jako dva permanentní magnety. Jejich působí je znázorněno na obrázku č. 1.5 [8,10]

2.4 Provoz synchronních generátorů

V současné době jsou provozovány rozsáhle elektrické sítě s velkým počtem paralelně pracujících alternátorů. Tato rozsáhlá energetická soustava zasahující i mimo hranice států je považována za tvrdou síť, to znamená, že napětí a kmitočet v této síti je konstantní. Najdou se však případy, kdy generátory pracují samostatně. Většinou se jedná o mobilní zdroje, poháněné například spalovacími motory. Mohou to být zdroje pro vojenské účely, nebo napájení výpočetní techniky, kde se vyžaduje neovlivňování ostatními spotřebiči připojenými na síť. [1]

2.4.1 Samostatně pracující synchronní generátor

Synchronní generátor, který pracuje samostatně bez připojení na přenosovou síť, pracuje v takzvaném ostrovním režimu. Zásobuje elektrickou energii pouze svou vlastní síť, respektive spotřebiče připojené k danému generátoru. Generátor uvedeme v tomto případě do chodu tak, že se při odpojení buzení a odpojení vinuté statoru rozběhne pomocí pohonné jednotky, na přibližně synchronní otáčky. Dalším krokem je pak zapojení buzení, stroj se vybudí, aby na svorkách bylo jmenovité napětí. Pak pomocí hlavního vypínače připojíme zátěž. Podle velikosti zátěže pak řídíme přívod energie na hřídel generátoru (činný výkon) a podle účinníku se nastavuje buzení. V takovém případě má soustrojí generátoru regulátor otáček, který řídí přívod energie na hřídel, a udržuje konstantní otáčky. Dále pak obsahuje samočinný regulátor napětí, který řídí budící proud, a udržuje stále napětí.

Pokud by stroj neměl samočinný regulátor otáček, a došlo by ke zvýšení zatížení, budou se otáčky snižovat tak dlouho, až přivedený příkon nebude stačit na pokrytí výkonu na svorkách. Pokud by se u stroje, který nemá samočinný regulátor buzení, zvýšil odběr jalového výkonu, bude se snižovat napětí a otáčky se nastaví, tak aby nastala nová rovnováha mezi odebíraným a vyráběným výkonem. [9]

2.4.2 Synchronní generátor pracující v přenosové síti

Jestliže chceme, aby synchronní generátor paralelně spolupracoval s přenosovou sítí, nebo pouze s jiným generátorem, musíme zajistit, aby v okamžiku připojení tohoto generátoru k síti

nedošlo k proudovému rázu a také k elektromechanickému vyrovnávacímu pochodu. Pochodu, který zajišťuje tyto podmínky, říkáme fázování. Fázování je sepnutí dvou nesynchronních dílů sítě, nebo připojení generátoru k síti případně k jinému běžícímu generátoru, a to v tom stavu a okamžiku, kdy napětí fázovaného stroje jsou stejná co do velikosti i úhlového natočení. Spolehlivého přifázování dosáhneme tak, že v okamžiku připojení generátoru k síti budou stejné okamžité hodnoty napětí sítě U_S a okamžité napětí generátoru U_G , a tato napětí budou mít stejný časový průběh. Musí tedy platit:

$$u_S = u_G \quad (1.5)$$

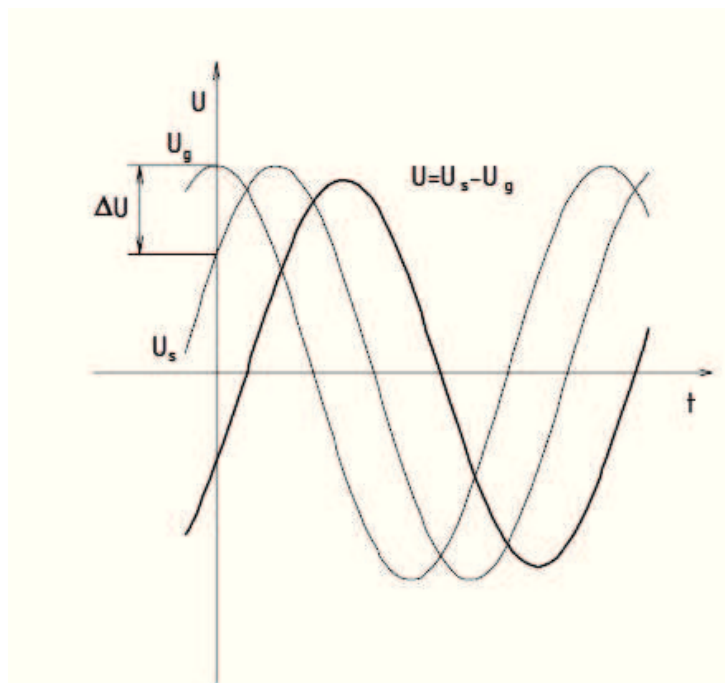
Kde:

$$u_S = U_{S-MAX} \cdot \sin(\omega_S \cdot t + \varphi_S) \quad u_G = U_{G-MAX} \cdot \sin(\omega_G \cdot t + \varphi_G) \quad (1.6)$$

výše uvedená rovnice bude platit, pokud budou splněny následující podmínky:

- Velikost napětí generátoru a sítě je shodná, tedy $U_S = U_G$. Tuto podmínku kontrolujeme pomocí voltmetrů, připojených na napětí stroje a sítě. Napětí stroje se reguluje na hodnotu napětí sítě pomocí podbuzování nebo přebuzování stroje. Stejně napětí sítě a připojovaného generátoru je při fázování nutné, neboť odchylka napětí způsobuje rázy jalového proudu. Pokud je napětí sítě v okamžiku sepnutí větší než napětí generátoru, pak se rázy přenáší do generátoru, pokud je tomu opačně, to znamená, že napětí v síti je menší než napětí generátoru rázy se přenášejí do sítě.
- Frekvence stroje a sítě jsou shodné, tedy platí $\omega_S = \omega_G$. Kmitočet stroje se poháněcím zařízením nastaví na frekvenci sítě. Rovnost frekvence obou spínaných dílů je podstatnější než rovnost napětí. Odchylky totiž způsobují rázy činného proudu. Tyto odchylky jsou způsobeny tím, že v okamžiku připnutí generátoru na síť se musí poměrně velká rotující hmota rotoru alternátoru urychlit nebo zpomalit, podle toho má-li alternátor větší nebo menší kmitočet než síť, na kterou ho připojujeme. Touto nahromaděnou kinetickou energii rotoru a její rychlou přeměnou na energii elektrickou se vysvětluje značný náraz činného proudu, který vzniká při fázování s rozdílem kmitočtů. Tento náraz způsobuje značné mechanické namáhání alternátoru a turbíny.
- Fázový posuv mezi napětím sítě a napětím generátoru je minimální nebo nulový. Je nutná úhlová shoda fázorů napětí generátoru a sítě v okamžiku fázování, jinak vzniká proudový náraz způsobený rozdílem napětí obou fázorů (obr. 1.6). Tento rozdíl napětí způsobí vyrovnávací proud, jeho maximální hodnota stoupá s fázovým úhlem. Jestli

při fázování je difference všech hodnot, tedy napětí, kmitočtu a úhlu, vytvoří každá taková difference vyrovnávající proud, a tyto proudy se vektorově sčítají.

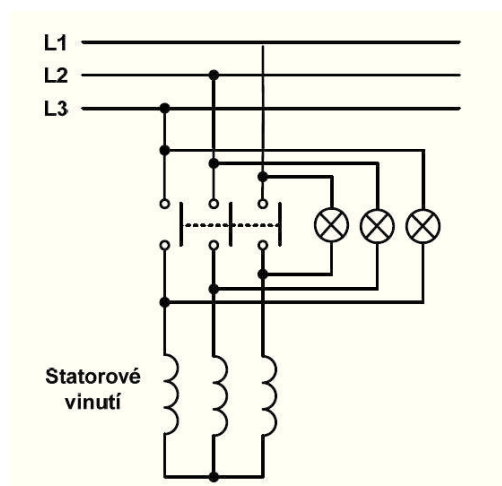


Obr. 1.6.: Rozdíl fázorů napětí generátorů a sítě

- Dále musí být shodný sled fází generátoru a sítě. Sled fází se dá jednoduše ověřit takzvaným sledovačem fází. Jedná se o asynchronní motorek, který se musí po připojení na stejné fáze stroje a sítě točit stejným směrem. Pokud se neotáčí stejným směrem, znamená to, že na generátoru a síti je opačný sled fází, tedy že magnetické pole proudu sítě se otáčí opačným směrem než magnetické pole proudu indukovaných ve statoru stroje. V takovém případě není možné dosáhnout synchronismu. Pro dosažení stejného sledu fází postačí prohodit mezi sebou libovolné dvě fáze stroje. [1,9]

2.4.3 Prostředky fázování

Jedním z nejjednodušších fázovacích zařízení jsou prosté žárovky zapojené mezi příslušné fáze generátoru a sítě.(obr. 1.7.)



Obr. 1.7 Základní princip fázování (na tmu)

Zapojení na obrázku 1.7 znázorňuje takzvané fázování na tmu. Princip tohoto měření spočívá ve zjišťování rozdílného kmitočtu napětí mezi generátorem a sítí. Pokud je rozdíl ve kmitočtu sítě a generátoru velký, nestačí vláknou žárovky sledovat tuto změnu a jednoduše svítí. Pokud se ale přiblíží kmitočet generátoru ke kmitočtu sítě, začnou žárovky pomalu pohasínat a rozsvěcet se. Správný okamžik pro přifázování generátoru na síť nastává ve chvíli, kdy žádná z žárovek nesvítí. Při tomto zapojení poznáme i jiný sled fází, a to tak že žárovky boudou blikat a světlo jakoby obíhá po žárovkách.

Moderní fázování v elektrárnách probíhá zcela automaticky pomocí fázovacích automatů. Tyto automaty snímají všechny potřebné veličiny jak na generátoru, tak na síti a podle odchylek řídí přívod páry do turbíny, tím mění otáčky a řídí velikost buzení. Automaticky se provádí i vlastní připojení generátoru na síť.

V okamžiku připojení generátoru na síť se zcela mění jeho chování. V ostrovním režimu provozu se zvýšeným výkonem na hřídeli zvyšovaly otáčky stroje. Zde to ovšem už neplatí a je to způsobeno tím, že distribuční síť je velmi tvrdá. Zvýšeným výkonem na hřídeli generátoru tedy nezvýšíme je ho otáčky, ale generátor začne dodávat do sítě činný výkon a převezme část dodávky energie do sítě. Regulaci buzení se při paralelním chodu řídí velikost jalového výkonu dodávaného do sítě, protože napětí sítě je konstantní a jeden generátor napětí sítě výrazně neovlivní. Napětí sítě a kmitočet jsou výsledkem rovnováhy mezi spotřebou činného i jalového výkonu a mezi přívodem energie a buzením všech strojů. [9,10]

3 Profil společnosti

Výrobní činnost společnosti je zaměřena především na výrobu a zpracování surového železa a oceli a hutní druhovýrobu. Největší podíl hutní výroby tvoří dlouhé a ploché válcované výrobky. Strojírenská výroba produkuje z největší části důlní výztuže a silniční svodidla. Servis a obslužné činnosti jsou v převážné míře zajišťovány vlastními obslužnými závody.

3.1 Historie

V roce 1942 se začala psát historie současně největší hutní společnosti České republiky. Tehdy Vítkovické železářny, v důsledku omezeného rozvoje vzhledem k umístění ve městě, započaly výstavbu svého jižního závodu v Kunčicích. O 5let později tedy v roce 1948 bylo přijato rozhodnutí o výstavbě hutního kombinátu, tehdy stále ještě jako součást Vítkovických železáren.



Obr. 2.1: Staveniště NHKG roku 1949-1950 v popředí první vlečka na rudný most.

31. prosince 1951 došlo k osamostatnění a vznikla Nová Huť Klementa Gottwalda (NHKG), národní podnik. Od roku 1951 do roku 1958 je datována první etapa existence podniku. Celý kombinát tvořilo pět koksárenských baterií, dvě vysoké pece včetně liciho stroje, čtyři siemens-martinské a pět hlubinných pecí, blokovna, válcovna trub, slévárna šedé litiny a část elektrárny včetně vodohospodářství.

Rokem 1958 začíná druhá etapa trvající do roku 1961. V této etapě se rozšiřovaly zejména kapacity pro produkci základních surovin, jako jsou koks, surové železo a ocel, ale také se

stavěly provozy s následným zpracováním těchto produktů. Rovněž byla v tomto období zprovozněna válcovací trať a linka na výrobu osobních, nákladních a traktorových kol. Počet koksárenských baterií se navýšil o čtyři, přibýly dvě vysoké pece a pět sklopných pecí pro výrobu oceli. Byla postavena také nová blokovna, pásové tratě P-250 a P-800, kontidráťová trať, zařízení na výrobu trubek, kyslíkárna a jiné.



Obr. 2.2: Pohled na chladicí věž elektrárny v roce 1951

V roce 1989 došlo ke změně názvu a z NHKG se stala Nová Huť, státní podnik. S touto změnou se pojí další významné technologické události, zejména přechod od odlévání oceli do ingotů k plynulému odlévání oceli. V letech 1993 - 1999 - byla postupně připojena zařízení pro plynulé odlévání. První v prosinci roku 1993, druhé o čtyři roky později a třetí v srpnu 1999. Tato změna přinesla větší výtěžnost oceli a v podstatě nižší energetickou náročnost. Neméně významnou událostí byla také výstavba válcovny na výrobu širokého, za tepla válcovaného pásu, která nahradila dvě zastaralé tratě a jejíž komplex je označován pásová minihuť. Koncem ledna roku 2003 nastal zlom, když Lakshmi Mittal, jehož strategie je založena především na restrukturalizaci a modernizaci upadajících oceláren, koupil v rámci privatizace Novou Huť a zhruba v polovině dubna vznikla ISPAT Nová Huť, a. s. Na konci roku 2004 se opět změnil název společnosti, tentokrát na Mittal Steel Ostrava, a. s. V rámci privatizace se z některých provozů a závodů staly přidružené nebo dceřiné podniky, například JÄKL Karviná, a. s., Nová Huť Zábřeh, a. s. nebo Vysoké pece Ostrava, a. s. Nejdiskutovanějším tématem ocelářského světa se stala v roce 2006 snaha Lakshmiho Mittala o převzetí světové dvojky Arcelor. Koncem června tohoto roku oznámila rada Arcelor

sloučení s Mittal Steel a vznikl tak světový gigant, v důsledku čehož se změnil i název ostravské společnosti na dnešní ArcelorMittal Ostrava. [3]

3.2 ArcelorMittal Energy Ostrava v současnosti

Představuje složitý a rozsáhlý komplex průmyslové energetiky se speciálním zaměřením na potřeby hutního průmyslu. V oboru vodního hospodářství, teplárenství, plynárenství, elektroenergetiky a výroby technických plynů je tento závod svými fyzickými výkony plně srovnatelný s jednoúčelovými energetickými subjekty podnikajícími na energetickém trhu České republiky. Převážná část dodávek energetických médií směřuje z ArcelorMittal Energy Ostrava do ostatních závodů akciové společnosti, část je určena externím kupujícím.[3]



Obr. 2.3: Pohled na závod energetiky v současnosti

4 Základní popis modernizovaného turboalternátoru

Hlavním cílem této práce je posoudit parametry generátoru, který byl provozován od roku 1997 do 2012, kdy proběhla modernizace původního generátoru. Tuto modernizaci provedla firma BRUSH SEM s.r.o., která navazuje na tradici výroby generátorů pod značkou ŠKODA.

4.1 Technická data synchronního alternátoru

Jedná se o dvoupólový synchronní alternátor, který je konstruován jako stroj chlazený vzduchem s uzavřeným okružním systémem. Skládá se ze statoru, rotoru, ložiska turboalternátoru, základových částí, budiče a pomocného budiče.

Typ	6H 590 782/2
Provedení	u33, tvar IM 5410
Výrobní číslo	051838
Jmenovitý zdánlivý výkon	31 250 kVA
Jmenovitý činný výkon	25 000 kW
Jmenovitý účinník	0,8
Jmenovitý kmitočet	50 Hz
Jmenovité sdružené napětí statoru	6300 V \pm 5%
Zapojení vinutí statoru	Hvězda
Jmenovitý proud statoru	2864 A
Jmenovité otáčky	3000 ot/min
Třída izolace	F (využití v B)
Napětí rotoru	49 – 158 V
Budicí proud	240 – 647 A
Dovolené nesymetrické zatížení	
Trvalé	8%
Přechodné	$I_2^2 \times T = 8\%$

Kde I_2 je zpětná složka proudu
v poměrných hodnotách, T je čas
v sekundách

Maximální teplota chladicí vody	33°C
Zapojení vinutí statoru	Hvězda
Počet drážek statoru	78
Počet vodičů v drážce	2x1
Krok	31/39
Počet paralelních větví	2
Odpor fáze při teplotě 20°C	0,00258 Ω
Počet drážek rotoru na pól	12 navinutých + 2 prázdné
Počet vodičů v drážce	17
Odpor rotoru při teplotě 20°C	0,01989 Ω
Směr točení rotoru	vpravo při pohledu od turbíny
Provozní diagram	Ex 7422 V

Sběrné ústrojí

Kroužky	
Výrobní	490 mm
Minimální	460 mm
Kartáče značky	LFC 501
Počet kartáčů na kroužek	9 ks
Rozměr kartáče	25 x 32 x 64 mm
Jmenovitá proudová hustota	8,9 A/cm ²

Váhy částí turboalternátoru

Kompletní stator	36 000kg
Kompletní stator včetně spojky	13 200 kg

[5]

4.2 Popis konstrukčního řešení turboalternátoru

4.2.1 Stator turboalternátoru

Stator stroje se skládá z jednodílné kostry s magnetickým obvodem, statorového vinutí s vývody proudu a měřících čidel.

- Kostra statoru je jednodílná, svařená z ocelových profilů a plechů a je provedena jako jeden tuhý a nerozebíratelný celek. Na vnitřním průměru jsou přivařeny trámce s lichoběžníkovými pravítky pro připevnění magnetického obvodu. Na šesti místech pravidelně po obvodu jsou po celé délce kostry mezi sousední trámce navařena plechová hradítka, jimiž jsou tvořeny kapsy navazující na otvory ve stahovacích deskách kostry. Tyto kapsy slouží k oddělení studeného chladicího vzduchu od vzduchu teplého. Magnetický obvod je složen ze segmentů elektrotechnických plechů, na nichž jsou připevněny rozpěrací vložky, které jsou tvarovány pro usměrnění chladicího vzduchu. Každý segment magnetického obvodu je oboustranně izolován dvěma vrstvami vypalovacího elektroizolačního laku, každý paket je navíc proložen dvěma vrstvami plechu se zesílenou izolací (4 vrstvy izolačního laku). Celý magnetický obvod je stažen ocelovými stahovacími deskami opatřenými nemagnetickými hřeby, které vyztužují plechy.
- Statorové vinutí je třífázové spojené do hvězdy. Jednotlivé tyče jsou sestaveny z dílčích izolovaných měděných vodičů. Pro izolaci je použitý izolační systém Relanex ŠKODA, který je určen pro napětí do 24 kV. Základním komponentem toho systému je páska Relanex, skládající se z plstěné slídy – Remiky, skleněné delubrikované tkaniny, které jsou vzájemně vázány a prosyceny modifikovaným epoxidovaným pojivem. Tento reaktoplastický izolační systém je vyhovující pro izolační třídu F. Dle dlouhodobých zkoušek z výroby dosahuje pevnost vytvrzené izolace hodnoty 35kV/mm.

Na dně drážky je vložka ze skleněné tvrzené tkaniny, sloužící jako ochranná vrstva povrchu tyče ve styku s plechy. Mezivložka mezi spodní a horní tyčí vinutí zajišťuje potřebnou vzdálenost vystupujících částí tyčí z plechů a přecházejících do čelního prostoru. Montážní vůle mezi tyčemi a boky drážky jsou vykolíkovány polovodivou tvrzenou tkaninou, která složí jako mechanické vyztužení proti dynamickým silám v drážce a současně uzemňuje povrch tyče pro zamezení drážkových výbojů. Po navinutí je celá čelní část vinutí prosycena impregnačním elektroizolačním lakem a vytvrzena za zvýšené teploty. Impregnací se dosáhne vyplnění všech

technologických vůlí a dokonalého prosycení všech bandáží. Povrch celého vinutí je přestříkán izolačním lakem, odolným proti oleji a plísni. Tímto je vinutí dokonale vyztuženo proti účinkům zkratových sil a dynamickému namáhání.

- Stator je z obou stran uzavřen odlitými hliníkovými kryty. Díly jsou opatřeny uvnitř nálitky, které složí pro nasávání chladícího vzduchu do stroje a jeho rozvodu k ventilátorům a dále nálitky sloužící k upevnění těsnících elementů zamezujících úniku chladícího vzduchu mezerou mezi kryty a rotorem.
- Magnetický obvod statoru je opatřen měřicími články. Jedná se o otřesu vzdorné ploché měřicí odpory, zhotovené z platinového drátu. Těmito články je měřena teplota zubů a jha plechů statoru a teplota tyčí statorového vinutí. Jsou situovány do 3 rovin v magnetickém obvodu, přičemž nejvíce článků je situovaných v rovině nejbližší středu stroje, kde jsou podmínky pro chlazení nejméně příznivé. Další měřicí čidla jsou umístěna do chladícího okruhu stroje. Jedná se o 4 odporové teploměry. Dva z těchto teploměrů jsou umístěny ve spodních dílech hliníkových krytů, kde měří teplotu studeného vzduchu nasávaného do stroje. Další dva jsou umístěny ve spodní části statoru v oblasti výfuku teplého vzduchu.

4.2.2 Rotor turboalternátoru

Rotor turboalternátoru je vyroben z vysoce legované oceli a je vykován z jednoho kusu. S rotorem turbíny je spojen pomocí nasazované spojky.

- V těle rotoru jsou po obvodě vyfrézovány drážky, v nichž je umístěno budící vinutí. Drážky pro budící vinutí jsou rozděleny do 3 částí. Spodní část drážky tvoří kanál pro rozvod chladícího vzduchu po délce stroje. Ve střední části drážky je umístěno budící vinutí stroje. Tato část drážky je na bocích a na dně vyložena izolačním materiálem a vyložena vodiči vyrobenými z elektrolytické mědi legované stříbrem. Jednotlivé vodiče jsou proloženy dvouvrstvou izolací. Nad vrchním vodičem je tato část drážky uzavřena opět izolací. Ve vrchní části drážky je umístěn klín lichoběžníkového průřezu z hliníkového bronzu, který zachycuje odstředivou sílu obsahu drážky. Všechny vodiče v drážce, izolace i klíny jsou opatřeny na sebe navazujícími otvory, které umožňují prostup chladícího vzduchu z kanálu ve spodní části drážky přes vinutí a klín do vzduchové mezery stroje.
- Do rotorového vinutí je přiváděn budící proud ze sběrného ústrojí pomocí grafitových kartáčů přes 2 sběrací kroužky a axiální budící přívod. Sběrací kroužek je ocelový výkovek nasazený na rotor přes slídovou izolaci. Na povrchu je opatřen šroubovicí.

Ze sběracího kroužku vede izolovaná plochá spojka, jejíž jeden konec je připevněn ke sběracímu kroužku a druhý konec je součástí budícího přívodu. Budící přívod je plochý měděný izolovaný vodič vedoucí pod povrchem čepu rotoru a je přiveden na první cívku vinutí rotoru.

- Turboalternátor je vybaven měřicí cívkou pro měření závitových zkratů ve vinutí rotoru. Tato cívka je zabudována do drážky klínu statorového vinutí a z důvodu montáže rotoru do statoru je sklopná. Vývody této cívky jsou vyvedeny na svorkovnici statoru.

4.2.3 Ložiska turboalternátoru

Rotor je uložen ve dvou kluzných ložiskách stojanového provedení.

- Ložisko na straně budiče se skládá z odlitého ložiskového stojanu (spodek stojanu a víko), ve kterém je uložena ložisková pánev. Ta je v ložiskovém stojanu uložena v kulové ploše, která umožňuje při montáži naklopení pánve dle čepu rotoru. Přívod a odpad mazacího oleje je připojen na mazací systém turbíny. Ložiskový stojan a příruby přívodu a odpad mazacího oleje jsou odizolovány z důvodu zamezení ložiskových proudů.
- Ložisko na straně spojky je uloženo ve společném stojanu s ložiskem turbíny a je dodáváno jako celek od dodavatele turbíny.

4.2.4 Sběrací ústrojí

Sběrací zařízení je umístěno pod hliníkovými kryty stroje a složí k převodu budícího proudu od budícího systému do rotorového vinutí.

- Sběrací zařízení se skládá ze čtyř sběracích pásů s roubíky a izolačních segmentů. Na obou hliníkových krytech jsou na izolačních segmentech přišroubovány sběrací pásy s roubíky. Na roubících jsou upevněny nosné svěrky s držáky kartáčů a kartáče. Oba sběrací pásy na každé straně stroje jsou opatřeny otvory pro připojení vodičů.

4.2.5 Chladič vzduchu

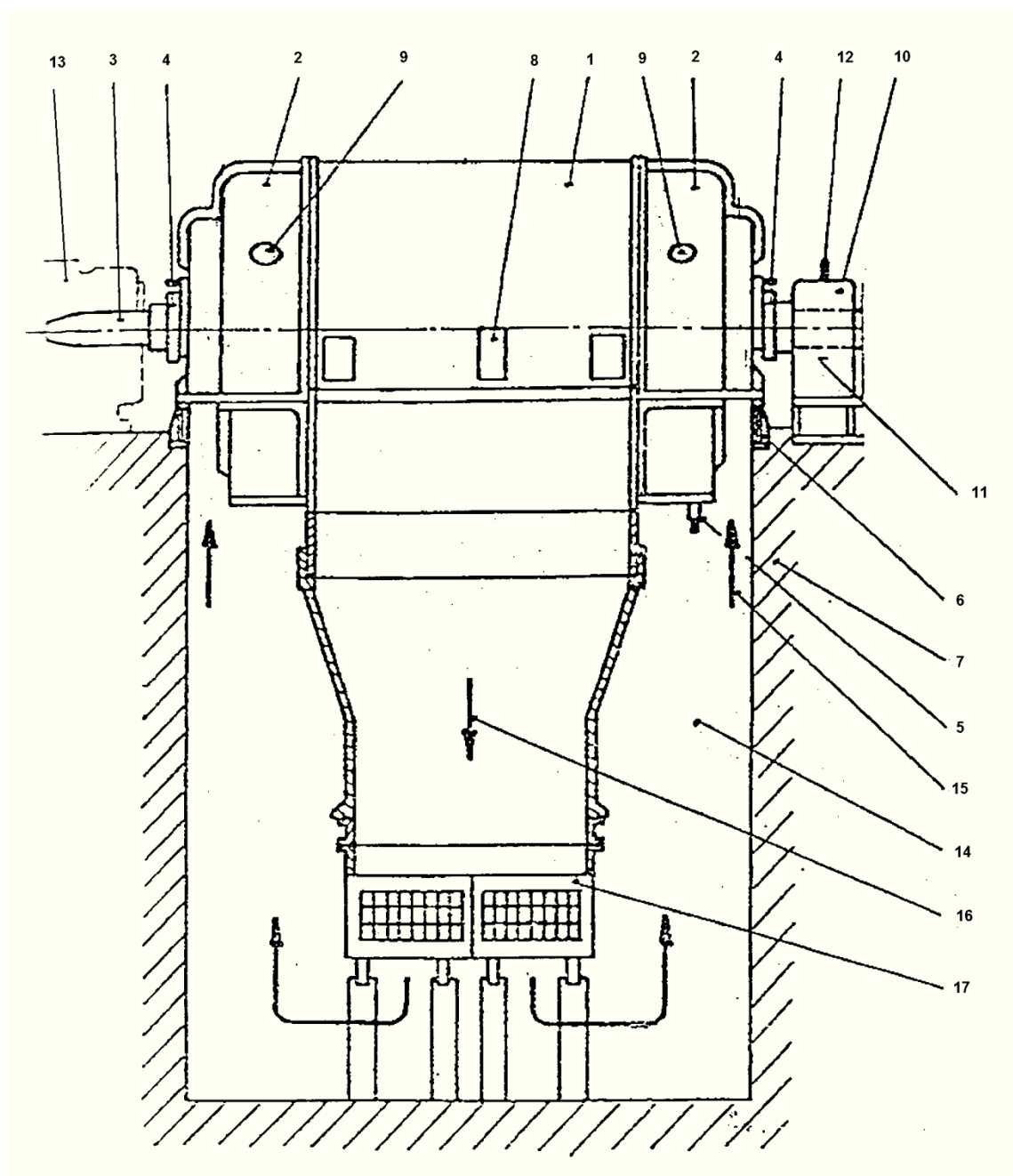
Chladič je určen pro chlazení cirkulujícího vzduchu, který odvádí tepelné ztráty z vinutí a magnetického obvodu při nuceném oběhu vzduchu i vody.

- Voda v chladicím okruhu nesmí obsahovat nečistoty, které by mohly způsobit korozi nebo zanesení chladiče. Dimenzování chladiče je provedeno tak aby spolehlivě odváděl tepelné ztráty při jmenovitém výkonu stroje.

[2]

4.3 Dispozice turboalternátoru s okružním chlazením vzduchu

1. Stator turboalternátoru
2. Víka turboalternátoru
3. Rotor turboalternátoru
4. Sběrací kroužky rotorového vinutí
5. Vývody statorového vinutí
6. Základní rám
7. Betonový základ
8. Svorkovnice odporových teploměrů pro měření teplot částí statoru
9. Snímatelná víčka, kterým lze nahlédnout na čela statorového vinutí.
10. Ložisko turboalternátoru na straně budiče
11. Termočlánky pro měření teploty ložiska na straně budiče
12. Opracovaná plocha na ložiskovém stojanu, určená pro umístění snímače chvění
13. Ložisko na straně turbíny
14. Kobka chladiče vzduchu
15. Studený vzduch na vstupu do turboalternátoru
16. Teplý vzduch na výstupu z turboalternátoru
17. Vodní chladiče vzduchu



Obr. 4.1: Dispozice turboalternátoru s okružním chlazením vzduchu

[2]

5 Modernizace původní generátoru

V roce 2012 provedla firma BRUSH SEM s.r.o. modernizaci generátoru ŠKODA, který byl uveden do provozu v roce 1997. Tato modernizace se týkala většiny částí stroje.

5.1 Modernizace základních částí stroje

Firma BRUSH SEM s.r.o. dodala úplně nový rotor stroje, protože původní rotor již neodpovídal požadavkům hutního podniku. Dále byla provedena modernizace statorového vinutí a jeho izolace, jelikož původní izolace byla v mnoha místech porušena (viz obr. 3.2) a neměla dostatečnou izolační pevnost. Další částí, které byly modernizovány, jsou ložiska a ložiskové stojany. Původní ložiska už neměla dostatečnou mechanickou pevnost, a to vedlo ke zvyšování celkových vibrací stroje

5.2 Zkoušky modernizovaného generátoru

Po dokončení modernizace byl generátor diagnostikován několika různými metodami, kterými se ověřovala funkce samotného generátoru, a také se kontrolovaly elektrické vlastnosti stroje.

5.2.1 Magnetizační zkouška statoru detektorem vad elektromagnetického jádra

V příloze 1.1 jsou vidět záznamy průběhu poruchových proudů spřažených s jednotlivými drážkami. Měření vad probíhalo u všech drážek od krajního paketu na straně spojky po krajní paket na straně kroužků. Číslování drážek je ve směru hodinových ručiček při pohledu od spojky. Zkouška byla prováděna přístrojem Elektromagnetic Core Imperfection Detector (EL CID) od výrobce ADWEL INTERNATIONAL LTD (výrobní číslo: 051854).

Zkouška byla prováděna na statorovém jádře se 78 drážkami, kde celková délka jádra je 2300 mm, délka jádra bez ventilačních kanálů je 1900mm. Šířka jedné drážky statoru je 20 mm. Ve statoru je 40 ventilačních kanálů a jeden má šířku 10 mm.

Vyhodnocení magnetizační zkoušky statoru:

Po vyhodnocení magnetizační zkoušky statoru detektorem vad elektromagnetického jádra bylo zřejmé, že na statorových plechách nejsou žádná vadná místa. [1.1]

5.2.2 Diagnostické měření teplotního stavu stroje

Tato zkouška probíhala v době, kdy turbogenerátor pracoval na výkonové hladině 22MW, 14MVar. V tabulce 5.1 můžeme vidět ostatní elektrické veličiny na generátoru v době měření.

Tab. 5.1 Elektrické veličiny v době měření teplotního stavu stroje

Měřená veličina	Označení	Rozměr	Hodnota
Činný výkon	P	MW	22
Jalový výkon	Q	MVar	14
Napětí statoru	U_1	V	6300
Proud statoru	I_1	A	2864
Účinník	$\cos \varphi$	-	0,84
Napětí rotoru	U_2	V	165
Napětí statoru	I_2	A	600

Elektrické veličiny v tabulce 5.1 byly odečteny z provozního digitálního přístroje v blokové dozorně.

Vyhodnocení teplotního stavu stroje:

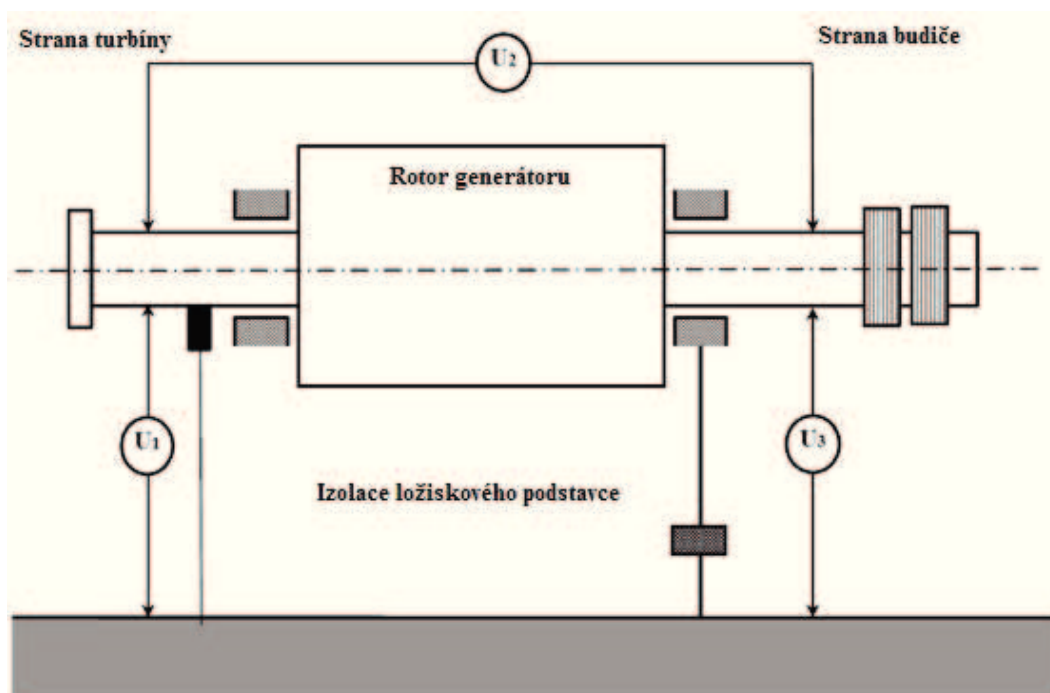
Oteplení chladícího vzduchu – je stanoveno jako rozdíl průměrné provozní teploty vzduchu před chladiči a průměrné hodnoty teploty vzduchu za chladiči, které byly odečteny z přímých teploměrů umístěných na plášti turboalternátoru. Toto oteplení má hodnotu $\Delta t = 8,0^\circ\text{C}$.

Teploty vinutí a železa turbogenerátoru – tyto hodnoty byly odečteny z provozního měřicího systému na obrazovce v blokové dozorně. Tyto hodnoty jsou uvedeny v příloze 1.2 na straně 3 a 4.

Turbo generátor je po tepelné stránce bez závad. Naměřené a odečtené hodnoty jsou částečně zkresleny rozdílným časem odečtení, ale i přesto lze konstatovat, že odpovídají zatížení stroje. [1.2]

5.2.3 Kontrola hřídelového a ložiskového napětí

Kontrola hřídelového a ložiskového napětí se prováděla v době, kdy generátor běžel na prázdko, při otáčkách 3000 min^{-1} . Na obrázku 5.1 je znázorněno schéma zapojení pro měření hřídelového a ložiskového napětí.



Obr. 5.1 Schéma zapojení pro měření hřídelového a ložiskového napětí.

Měřící přístroje:

Multimeter (cal. 6/2014), FLUKE 115, výrobní číslo: 14681350

Naměřené hodnoty:

Tab. 5.2 Naměřené hodnoty hřídelového a ložiskového napětí

U_1 (V)	U_2 (V)	U_3 (V)
0,021	2,010	1,966

Vyhodnocení kontroly hřídelového a ložiskového napětí:

Hodnoty naměřené při této kontrole jsou v souladu s hodnotami uvedených v kritériích přípustnosti. Měření bylo úspěšné, nebyla nalezena žádná poškození, izolační odpor ložisek je uspokojivý. Z výsledku měření je zřejmé, že v době diagnostické kontroly byla soustava dostatečně spojena se zemním potenciálem. [1.3]

5.2.4 Měření izolačního odporu vinutí statoru

Měření izolačního odporu statorového vinutí bylo prováděno napětím 5000V, teplota vinutí byla 27°C a teplota okolního prostředí měla hodnotu 28°C.

Tab. 5.3 Naměřené hodnoty izolačního odporu:

Měřená fáze		Čas (s)		
		15	60	600
$R_{IS} (G\Omega)$	U	1,9	8,2	47,8
	V	2,1	9	49,2
	W	2,16	8,03	47,2

Pro výpočet polarizačního indexu jsme vycházeli z vzorců:

$$P_{I1} = \frac{R_{iz60}}{R_{iz15}} \quad P_{I10} = \frac{R_{iz600}}{R_{iz60}}$$

Tab. 5.4 Vypočtené hodnoty polarizačního indexu:

	U	V	W
$P_{I1} (-)$	4,32	4,29	3,72
$P_{I10} (-)$	5,83	5,47	5,92

Vyhodnocení měření izolačního odporu statorového vinutí:

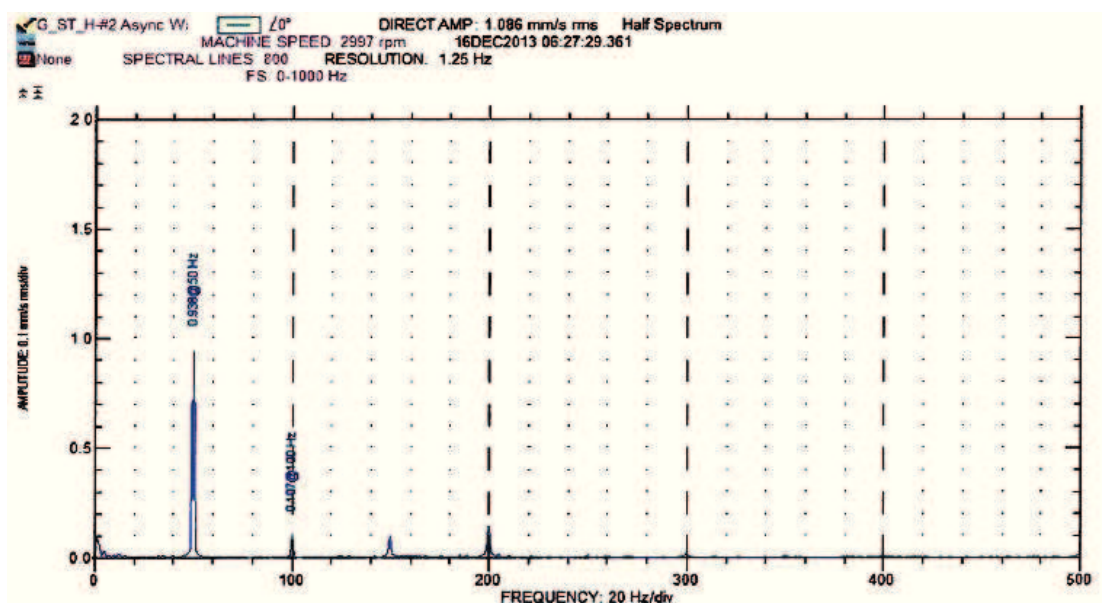
Z vypočtených hodnot polarizačního indexu v tabulce 5.4 vidíme, že izolační odpor statorového vinutí je dostatečně velký, protože polarizační index je větší než 3,5. To je považováno za hranici pro dostatečnou velikost izolačního odporu. [1.4]

5.2.5 Měření vibrací ložisek při jmenovitém zatížení

Ověření vibračního chování turbogenerátoru bylo provedeno měřicím systémem ADRE 408 DSPi, Bently Nevada. V tabulce 5.5 můžeme vidět naměřené hodnoty vibrací ložisek.

Tab. 5.5 Naměřené hodnoty vibrací ložisek

Ložisko	Směr	Σ	1xf		2xf	
		(mm/s)	(mm/s)	(°)	(mm/s)	(°)
Turbína NT zadní	H	0,52	0,37	133	0,18	135
	V	0,8	0,7	329	0,03	188
	A	0,73	0,61	124	0,30	58
Generátor přední	H	0,84	0,77	132	0,17	279
	V	0,7	0,53	33	0,36	332
	A	0,65	0,53	304	0,31	229
Generátor zadní	H	0,04	0,14	148	0,29	163
	V	0,81	0,38	17	0,66	107
	A	0,99	0,13	88	0,90	145
Budič zadní	H	1,11	0,28	331	0,58	71
	V	0,58	0,35	238	0,38	294
	A	0,32	0,11	161	0,23	270



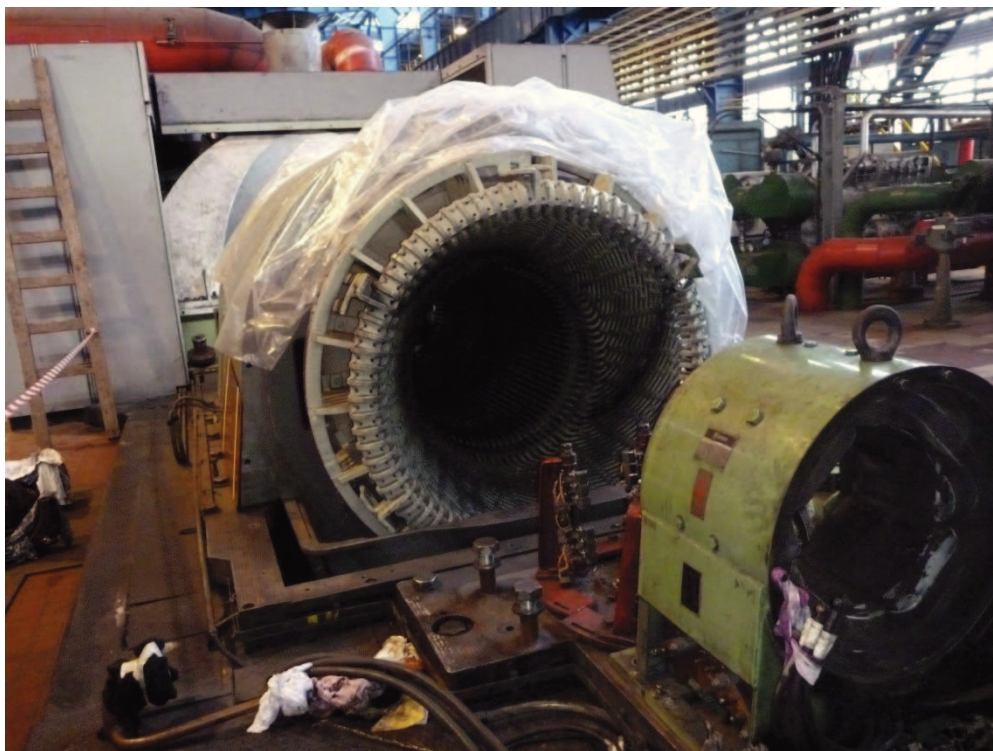
Obr. 5.2 Výsledky frekvenční analýzy ložiska generátoru ve vertikálním směru.

Vyhodnocení měření vibrací ložisek při jmenovitém zatížení:

Úroveň vibrací ložisek turbogenerátoru je nízká. Vibrační chování stroje je v souladu se zněním normy ČSN ISO 10816 a hodnoceno jako velmi dobré. Výsledky frekvenční analýzy jsou uvedeny v příloze 1.5 od strany 3 do strany 11. Z frekvenční analýzy je vidět, že amplitudy dalších frekvenčních složek, které se ve spektrech ložisek turbogenerátoru objevují, jsou zanedbatelné a neovlivňují nízkou úroveň celkových vibrací ložisek. [1.5]

6 Optimalizace provozu

Optimalizace generátoru byla provedena s ohledem na zlepšení spolehlivosti stroje, nikoliv z důvodu navýšení výkonu stroje. V rámci modernizace byla provedena řada konstrukčních úprav, které mají zásadní vliv na bezporuchový provoz samotného generátoru. V době, kdy byl vyráběn původní generátor, nebyly využívány tak kvalitní technologie a postupy jako v současnosti. Jelikož musíme uvažovat, že generátor pracuje nepřetržitě v hutním průmyslu, kde je zvýšená prašnost a tím i zvýšené namáhání části generátoru, měly tyto zastaralé technologie a postupy vliv na četnost poruch a tudíž i četnost odstávek generátoru, což způsobilo výpadky dodávky energie pro jednotlivé výrobní závody a tedy zastavení výroby. To ve výsledku znamenalo velké finanční ztráty pro hutní podnik.



Obr. 6.1 Stator generátoru v průběhu modernizace po vyjmutí rotoru.

Modernizací prošla velká část součástí stroje. Byla provedena modernizace statorového vinutí, protože původní vinutí mělo v několika místech porušenou izolaci a nemělo dostatečnou izolační pevnost.



Obr. 6.2 Poškozená izolace vinutí statoru před provedením modernizace.

Další části, které prošly modernizací, byly ložiska a ložiskové stojany, protože původní ložiska už neměly požadované mechanické vlastnosti, tudíž docházelo ke zvyšování celkových vibrací stroje. Byl vyroben úplně nový rotor, protože původní již nedosahoval požadované mechanické pevnosti a tím docházelo ke zvětšování celkových vibrací stroje. Současně byla nahrazena kuželovitá hřídel původního rotoru, za hřídel válcovou.



Obr. 6.3 Vyměněná ložiska na straně budiče turboalternátoru.

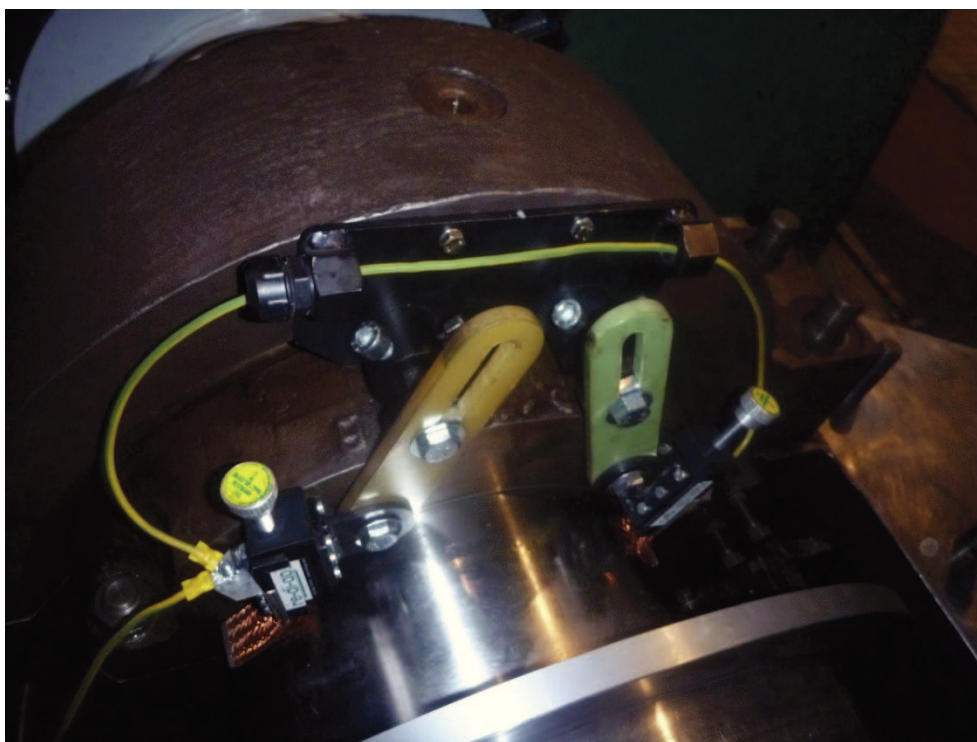
Po dokončení modernizace byl generátor diagnostikován několika různými metodami, kterými se ověřovala funkce samotného generátoru, a také se kontrolovaly elektrické vlastnosti stroje. Byla provedena magnetizační zkouška statoru detektorem vad elektromagnetického jádra, po které bylo zjištěno, že statorové plechy neobsahují žádná vadná místa. Dále bylo provedeno měření oteplení stroje, které ověřilo, že turbogenerátor je po tepelné stránce bez závad a oteplení stroje je v daných mezích. Následující kontrolou bylo měření hřídelového a ložiskového napětí, kde z naměřených hodnot vyplývá, že modernizovaný stroj, konkrétně jeho ložiska mají dostatečně velký izolační odpor. Z této diagnostické kontroly je zřejmé, že v době diagnostiky byla soustava dostatečně spojena se zemním potenciálem. Následně byl měřen izolační odpor statoru a proveden vypočten polarizační index, podle kterého jsme mohli prohlásit izolaci statorového vinutí za vyhovující. Významnou zkouškou bylo také měření vibrací ložisek generátoru. Toto měření bylo provedeno na čtyřech ložiscích (ložisko na straně turbíny, přední a zadní ložisko generátoru a zadní ložisko budiče) a to ve 3 směrech – horizontálním, vertikálním a axiálním. Z frekvenční analýzy je vidět, že amplitudy dalších frekvenčních složek, které se ve spektrech vibrací ložisek turbogenerátoru objevují, jsou zanedbatelné a neovlivňují nízkou úroveň celkových vibrací ložisek.

6.1.1 Optimalizace z hlediska kompatibility

Při modernizaci byla provedena optimalizace s ohledem na kompatibilitu jednotlivých generátorů v podniku. Původní generátor, respektive jeho hřídel na rotoru byla typu 6H což značí, že hřídel má kuželovitý tvar. Jelikož velká část generátorů v hutním podniku je s hřídeli typu 8H, tedy s rovnou (válcovou) hřídelí, byl nový rotor dodán s hřídeli typu 8H.

6.1.2 Optimalizace s ohledem na zvýšenou prašnost

Z důvodů působení zvýšeného výskytu prachu v provozu, bylo navrženo přesunutí zemnicí sady REDIGO, určené pro ochranu proti zemním proudům. Tato sada byla původně umístěna mezi generátorem a turbínou přímo na hřídeli, působením prachu a nedostatečného krytí zemnicí sady docházelo k většímu opotřebení kartáčů a tedy i k častějším poruchám a odstávkám. Proto byla zemnicí sada umístěna ke spojce, respektive do její vnitřní části, kde je lepe chráněna před působením prachu.



Obr. 6.4 Přesunutá zemnicí sada REDIGO do vnitřní části spojky, kde je lépe chráněná před prachem.

6.1.3 Optimalizace sběrného ústrojí

U původního sběrného ústrojí, konkrétně u kroužků a kartáčů docházelo vlivem působení elektromagnetických jevů k vyhřívání a posléze k prasknutí těchto částí. Proto bylo zvoleno sběrné ústrojí vyrobené z materiálu odolnějším proti elektromagnetickým jevům a tepelným účinkům těchto jevů.

7 Závěr

Tato bakalářská práce byla zpracována na téma posouzení technických parametrů teplárenského generátoru a návrh optimalizace provozu. Toto téma bylo zpracováno ve spolupráci se společností ArcelorMittal Ostrava a.s.

V teoretické části práce bylo popsáno základní rozdělení synchronních strojů. Dále byl vysvětlen princip funkce synchronního generátoru a proveden popis základních částí stroje.

V praktické části bakalářské práce byl proveden rozbor základních částí daného teplárenského generátoru hutní společnosti a detailně popsána konstrukce těchto částí. Dále byl popsán postup modernizace původního generátoru a jeho jednotlivých součástí. V následující kapitole byla řešena otázka diagnostiky modernizovaného stroje. Pomocí několika diagnostických měření a jejich vyhodnocení byla ověřena správnost funkce generátoru. Byla provedena magnetizační zkouška statoru detektorem vad elektromagnetického jádra, kterou byl prověřen stav statorových plechů. Další zkouškou, která byla provedena, bylo diagnostické měření oteplení stroje a kontrola hřídelového napětí, která prověřovala izolační odpor ložisek stroje. Poslední zkouškou bylo měření vibrací ložisek při jmenovitém zatížení, pomocí které se ověřovaly mechanické vlastnosti ložisek a jejich chování při jmenovitém zatížení.

Cílem této práce bylo provést zhodnocení a návrh optimalizace provozu generátoru pro hutní společnost a její potřeby. Byly popsány části, které pouze prošly revitalizací a dále také části, které byly úplně vyměněny za nové, nebo byla provedena jejich úprava.

8 Použitá literatura

- [1] CHMELÍK, Karel. *Stejnoseměrné a komutátorové elektrické stroje, obecný stroj*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2001, 127 s., [1] s. obr. příl. ISBN 80-707-8857-7.
- [2] NH OSTRAVA. *Provozní předpis tba 6H 590782/2 vyr. Č. 051838: pokyny pro skladování, montáž, provoz a údržbu turbogenerátoru*. Ostrava, 1997.
- [3] ArcelorMittal a.s. [online]. 2014 [cit. 2014-04-24]. Dostupné z: <http://ostrava.arcelormittal.com/>
- [4] BRUSH SEM S.R.O. *Brush aftermarket CZ*. Plzeň, 2012.
- [5] NH OSTRAVA. *Turbo alternátory s okružním chlazením vzduchu: Pokyny pro obsluhu*. Ostrava, 1997.
- [6] BRUSH SEM s.r.o. [online]. 2014 [cit. 2014-04-24]. Dostupné z: <http://www.brush-sem.cz/>
- [7] VAVŘIŇAK, Petr. *Elektrické stroje a přístroje*. Střední škola elektrotechnická, Ostrava, Na jízdárně 30, p.o.: Střední škola elektrotechnická, 2006.
- [8] CHMELÍK, Karel a Jiří POSPIŠILÍK. *Elektrické stroje v energetice*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2003, [20] l. ISBN 80-248-0314-3.
- [9] KAČOR, Petr. *Vybrané typy elektrických strojů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010, 127 s. ISBN 978-80-248-2169-6.
- [10] CIGÁNEK, Ladislav a Miroslav BAUER. *Elektrické stroje a přístroje*. 2. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1957, 639 s.

9 Přílohy:

- 1.1 Magnetizační zkouška statoru detektorem vad elektromagnetického jádra (COT-1-102)
- 1.2 Diagnostika teplotního stavu stroje (D12)
- 1.3 Kontrola hřídelového a ložiskového napětí (COT – 1-024)
- 1.4 Měření izolačního odporu statorového vinutí (COT-7-020)
- 1.5 Měření vibrací ložisek při jmenovitém zatížení (D8)

PŘÍLOHA 1.1

Magnetizační zkouška statoru detektorem vad elektromagnetického jádra

BRUSH	MAGNETIZATION TEST OF STATOR CORE BY EL CID / MAGNETIZAČNÍ ZKOUŠKA STATORU DETEKTOREM VAD ELEKTROMAG. JÁDRA EL CID			Doc. No. Dok. č.	COT-1-102		
Quality Record Protokol jakosti				Issue Vydání	A		
Part Trace No. Identifikační označení	8H590782/2	Machine Serial No. Výrobní číslo stroje	051824	Page Strana	1	of z	13
Procedure Reference Předpis	PZ 04248 /	Acceptance Criteria Kritéria přípustnosti	PZ 04248	Date Datum	29-09-2013		
Manufactured At Název společnosti	BRUSH SEM s.r.o.	Manufacturer's Data Zakázk. č./Č. protokol.	371080 / A00352	Name Jméno	Zůza, Batěk		

ALL RECORDED VALUES ARE IN SI UNITS UNLESS OTHERWISE STATED
Všechny uvedené hodnoty jsou v soustavě SI není-li určeno jinak.


Data sheet of the detector / Štítkové údaje detektoru							
Type / Typ:	Eletromagnetic Core Imperfection Detector (EL-CID)						
Producer / Výrobce:	ADWEL INTERNATIONAL LTD			No / Výrobní číslo:	051824		
Stator core / Údaje o měřeném statorovém jádře				Machine type / Typ stroje:	8H590782/2		
Number of slots / Počet drážek statoru:	-	78		Details of test / Budící vinutí pro magnetizaci			
Lenght of laminated core (total) / Délka složeného jádra (celková):	mm	2300		Number of excitation turns / Počet proudových závitů vinutí:	-	6	
Lenght of laminated core (without venting channels) / Délka složeného jádra (bez ventilačních kanálů):	mm	1900		Number of voltage turns / Počet napětových závitů:	-	1	
Breadth of venting channel / Šířka ventilačního kanálu:	mm	10		Excitation current / Budící proud:	A	14,02	
Number of the venting channels / Počet ventilačních kanálů:	-	40		Amperturns / Počet ampéřzávitů:	Az	84,12	
Breadth of the slot / Šířka drážky:	mm	20		Single turn voltage / Závitové napětí:	V	6,1	
Test procedure / Postup měření:							
Numbering of the slots / Číslování drážek:	slot No. 1 / viz. slot č. 1			Drawing No./ Výkres č.:			

Fault current traces were recorded along each of the stator slots on chart recorder, see pages No. 2 – 13 of the test report. The measurement was carried out from the stator core beginning at the drive end to the end at the exciter end. Slot numbering is clockwise as viewed on drive end, where first slot is the top in the axis of the generator.

V následujících listech č. 2 – 13 jsou zaznamenány průběhy poruchových proudů spřažených s jednotlivými drážkami. Měření probíhalo u všech drážek od krajního paketu na straně spojky do krajního paketu na straně kroužků. Číslování drážek je ve směru hodinových ručiček při pohledu od spojky, kde první drážka je nejhornější v ose generátoru

Result / Závěr:

Test was successful, the fluctuation of fault current traces and checking with flexible sensing head show no damages of the stator core.
Na statorových plechách se nevyskytují vadná místa.

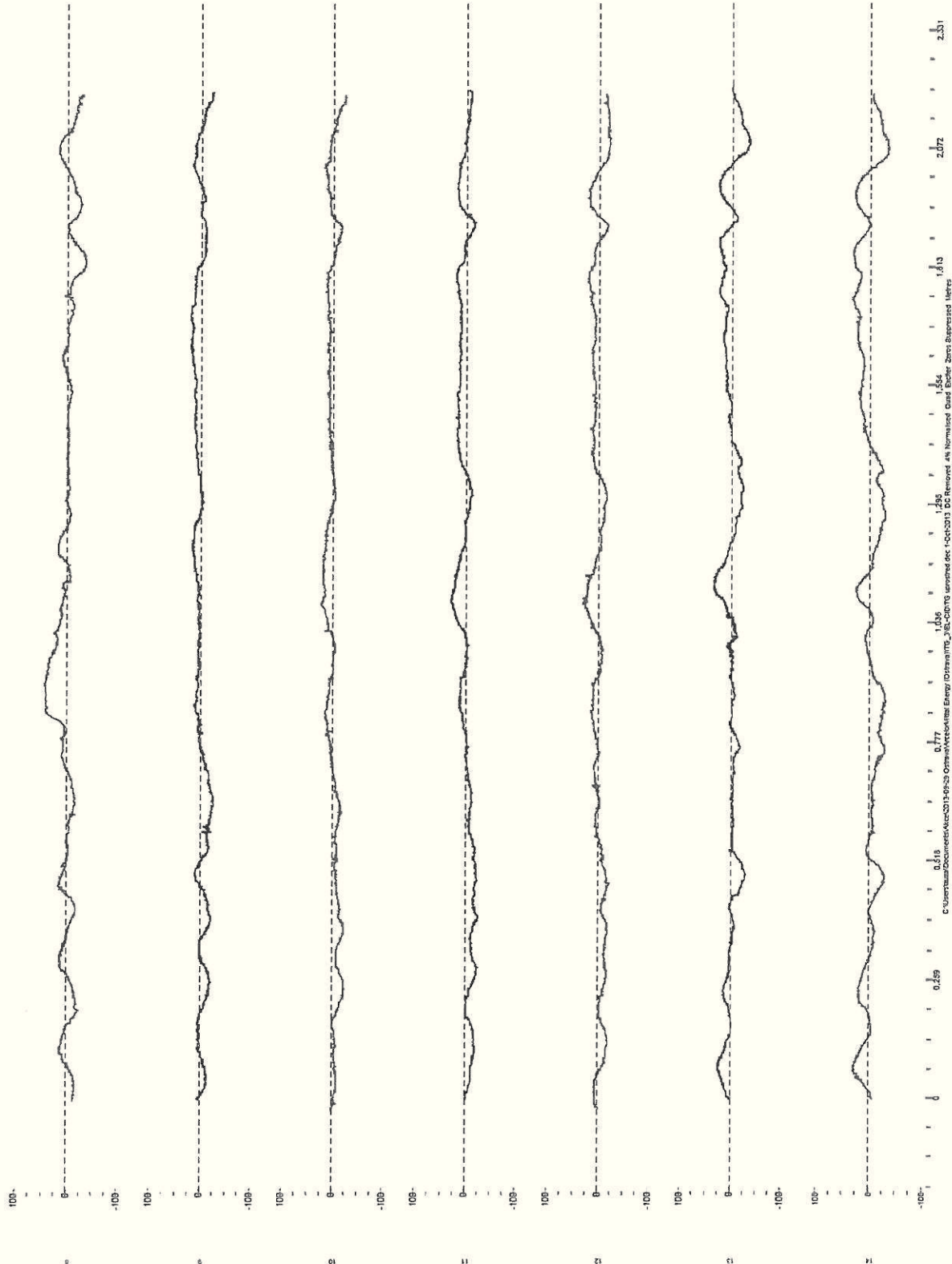
All values within tolerance ranges specified in the acceptance criteria. Všechny hodnoty jsou ve shodě s hodnotami uvedenými v kritériích přípustnosti.		YES ANO	X
Check the appropriate box. If the response is NO, please give details below. Označte odpovídající pole. Pokud je odpověď NE, uveďte do poznámky důvod.		NO NE	
Comments Poznámky			

BRUSH Quality Record <i>Protokol jakosti</i>	MAGNETIZATION TEST OF STATOR CORE BY EL CID / MAGNETIZAČNÍ ZKOUŠKA STATORU DETEKTOREM VAD ELEKTROMAG. JÁDRA EL CID			Doc. No.	COT-1-102		
				Dok. č.			
Part Trace No. <i>Identifikační označení</i>	8H590782/2	Machine Serial No. <i>Výrobní číslo stroje</i>	051824	Page	3	of	13
				Strana		z	
Procedure Reference <i>Předpis</i>	PZ 04248 /	Acceptance Criteria <i>Kritéria přípustnosti</i>	PZ 04248	Date	29-09-2013		
Manufactured At <i>Název společnosti</i>	BRUSH SEM s.r.o.	Manufacturer's Data <i>Zakázk. č./Č. protokol.</i>	371080 / A00352	Name	Zůza, Batěk		
				Jméno			

ALL RECORDED VALUES ARE IN SI UNITS UNLESS OTHERWISE STATED
 Všechny uvedené hodnoty jsou v soustavě SI není-li určeno jinak.

Exciter side / Strana budiče

Turbine side / Strana turbíny



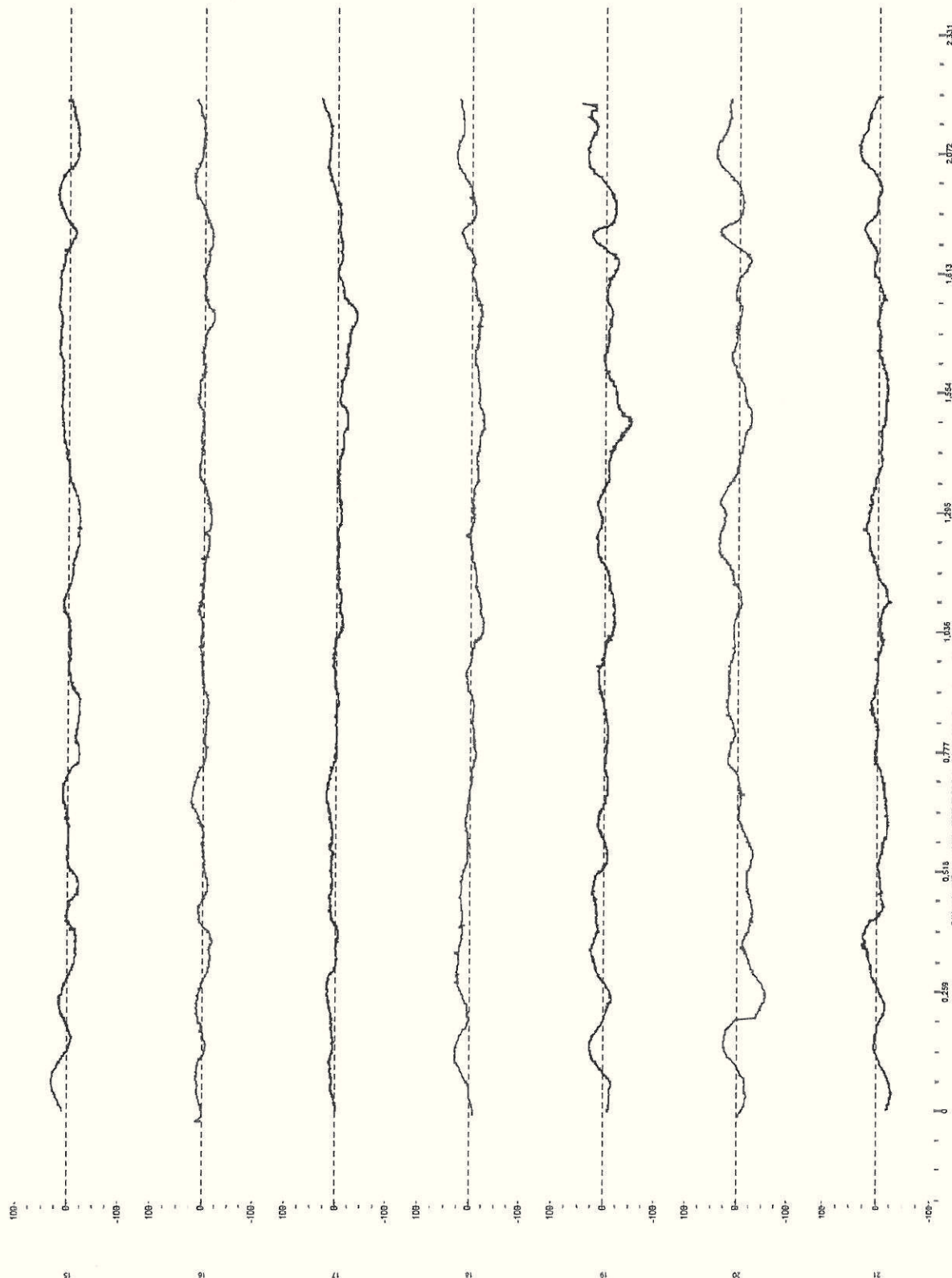
20

BRUSH Quality Record <i>Protokol jakosti</i>	MAGNETIZATION TEST OF STATOR CORE BY EL CID / MAGNETIZAČNÍ ZKOUŠKA STATORU DETEKTOREM VAD ELEKTROMAG. JÁDRA EL CID			Doc. No. Dok. č.	COT-1-102		
				Issue Vydání	A		
Part Trace No. Identifikační označení	8H590782/2	Machine Serial No. Výrobní číslo stroje	051824	Page Strana	4	of z	13
Procedure Reference Předpis	PZ 04248 /	Acceptance Criteria Kritéria přípustnosti	PZ 04248	Date Datum	29-09-2013		
Manufactured At Název společnosti	BRUSH SEM s.r.o.	Manufacturer's Data Zakázk. č./Č. protok.	371080 / A00352	Name Jméno	Zůza, Batěk		

ALL RECORDED VALUES ARE IN SI UNITS UNLESS OTHERWISE STATED
Všechny uvedené hodnoty jsou v soustavě SI není-li určeno jinak.

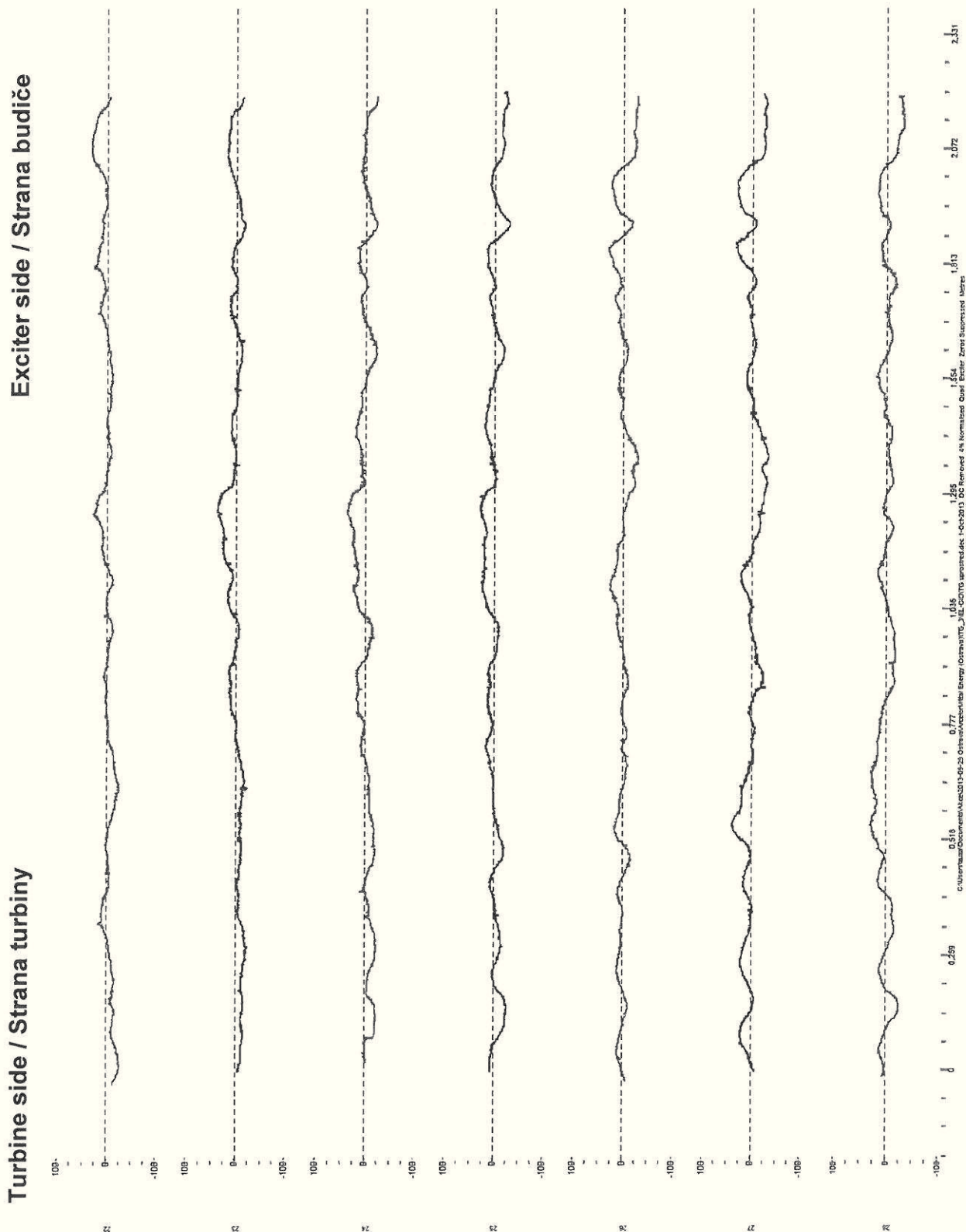
Exciter side / Strana budiče

Turbine side / Strana turbíny



BRUSH		MAGNETIZATION TEST OF STATOR CORE BY EL CID / MAGNETIZAČNÍ ZKOUŠKA STATORU DETEKTOREM VAD ELEKTROMAG. JÁDRA EL CID		Doc. No. Dok. č.	COT-1-102	
Quality Record Protokol jakosti				Issue Vydání	A	
Part Trace No. Identifikační označení	8H590782/2	Machine Serial No. Výrobní číslo stroje	051824	Page Strana	5 of z	13
Procedure Reference Předpis	PZ 04248 /	Acceptance Criteria Kritéria přípustnosti	PZ 04248	Date Datum	29-09-2013	
Manufactured At Název společnosti	BRUSH SEM s.r.o.	Manufacturer's Data Zakázk. č./Č. protokol.	371080 / A00352	Name Jméno	Zůza, Batěk	

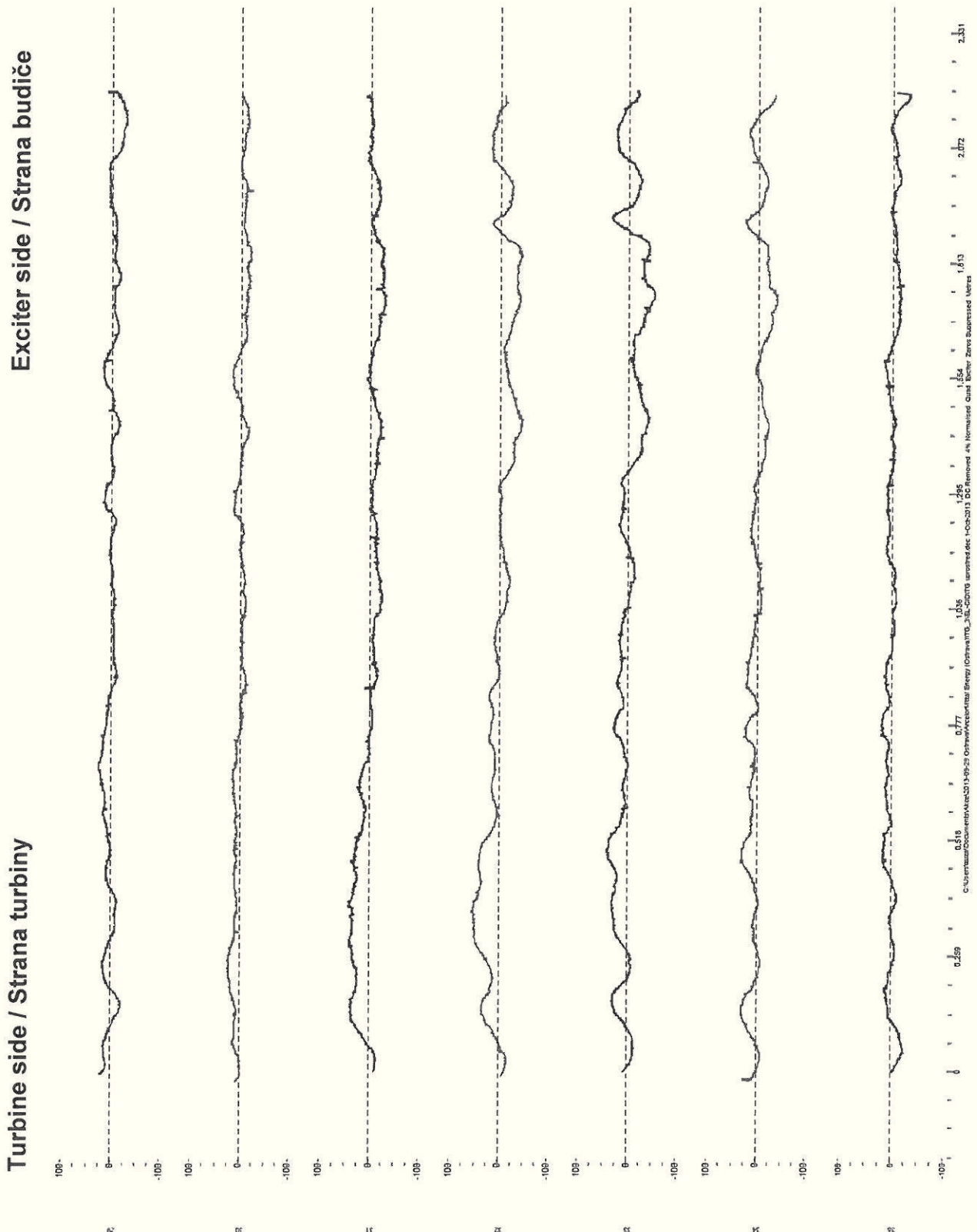
ALL RECORDED VALUES ARE IN SI UNITS UNLESS OTHERWISE STATED
Všechny uvedené hodnoty jsou v soustavě SI není-li určeno jinak.



20

BRUSH		MAGNETIZATION TEST OF STATOR CORE BY EL CID / MAGNETIZAČNÍ ZKOUŠKA STATORU DETEKTOREM VAD ELEKTROMAG. JÁDRA EL CID		Doc. No. Dok. č.	COT-1-102		
Quality Record Protokol jakosti				Issue Vydání	A		
Part Trace No. Identifikační označení	8H590782/2	Machine Serial No. Výrobní číslo stroje	051824	Page Strana	6	of z	13
Procedure Reference Předpis	PZ 04248 /	Acceptance Criteria Kritéria přípustnosti	PZ 04248	Date Datum	29-09-2013		
Manufactured At Název společnosti	BRUSH SEM s.r.o.	Manufacturer's Data Zakázk. č./Č. protokol.	371080 / A00352	Name Jméno	Zůza, Batěk		

ALL RECORDED VALUES ARE IN SI UNITS UNLESS OTHERWISE STATED
Všechny uvedené hodnoty jsou v soustavě SI není-li určeno jinak.



20

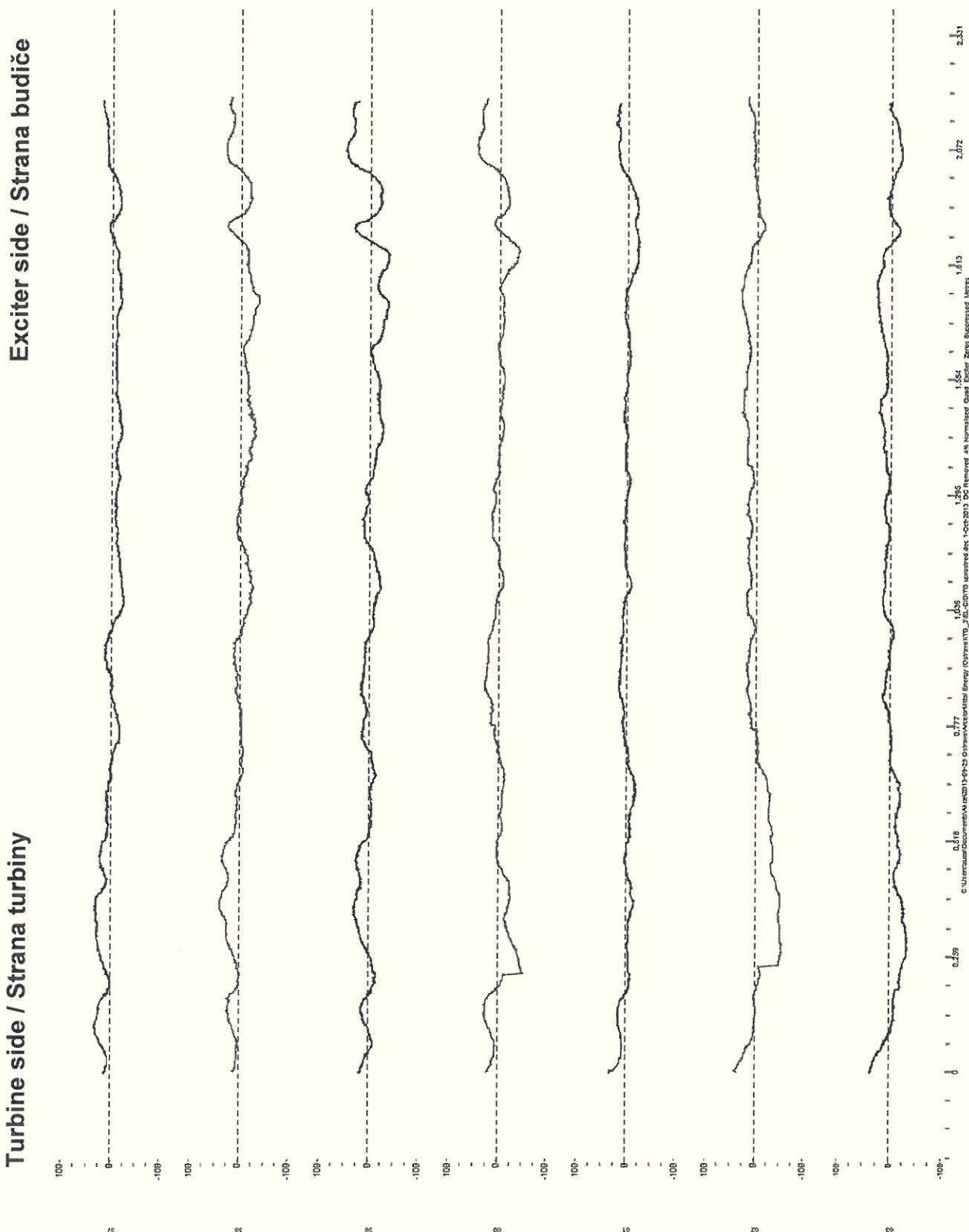
BRUSH Quality Record <i>Protokol jakosti</i>	MAGNETIZATION TEST OF STATOR CORE BY EL CID / MAGNETIZAČNÍ ZKOUŠKA STATORU DETEKTOREM VAD ELEKTROMAG. JÁDRA EL CID			Doc. No. Dok. č.	COT-1-102		
				Issue Vydání	A		
Part Trace No. Identifikační označení	8H590782/2	Machine Serial No. Výrobní číslo stroje	051824	Page Strana	7	of z	13
Procedure Reference Předpis	PZ 04248 /	Acceptance Criteria Kritéria přípustnosti	PZ 04248	Date Datum	29-09-2013		
Manufactured At Název společnosti	BRUSH SEM s.r.o.	Manufacturer's Data Zakázk. č./Č. protok.	371080 / A00352	Name Jméno	Žůza, Batěk		

ALL RECORDED VALUES ARE IN SI UNITS UNLESS OTHERWISE STATED
Všechny uvedené hodnoty jsou v soustavě SI není-li určeno jinak.



BRUSH	MAGNETIZATION TEST OF STATOR CORE BY EL CID / MAGNETIZAČNÍ ZKOUŠKA STATORU DETEKTOREM VAD ELEKTROMAG. JÁDRA EL CID			Doc. No. Dok. č.	COT-1-102		
Quality Record Protokol jakosti				Issue Vydání	A		
Part Trace No. Identifikační označení	8H590782/2	Machine Serial No. Výrobní číslo stroje	051824	Page Strana	10	of z	13
Procedure Reference Předpis	PZ 04248 /	Acceptance Criteria Kritéria přípustnosti	PZ 04248	Date Datum	29-09-2013		
Manufactured At Název společnosti	BRUSH SEM s.r.o.	Manufacturer's Data Zakázk. č./Č. protokol.	371080 / A00352	Name Jméno	Zůza, Batěk		

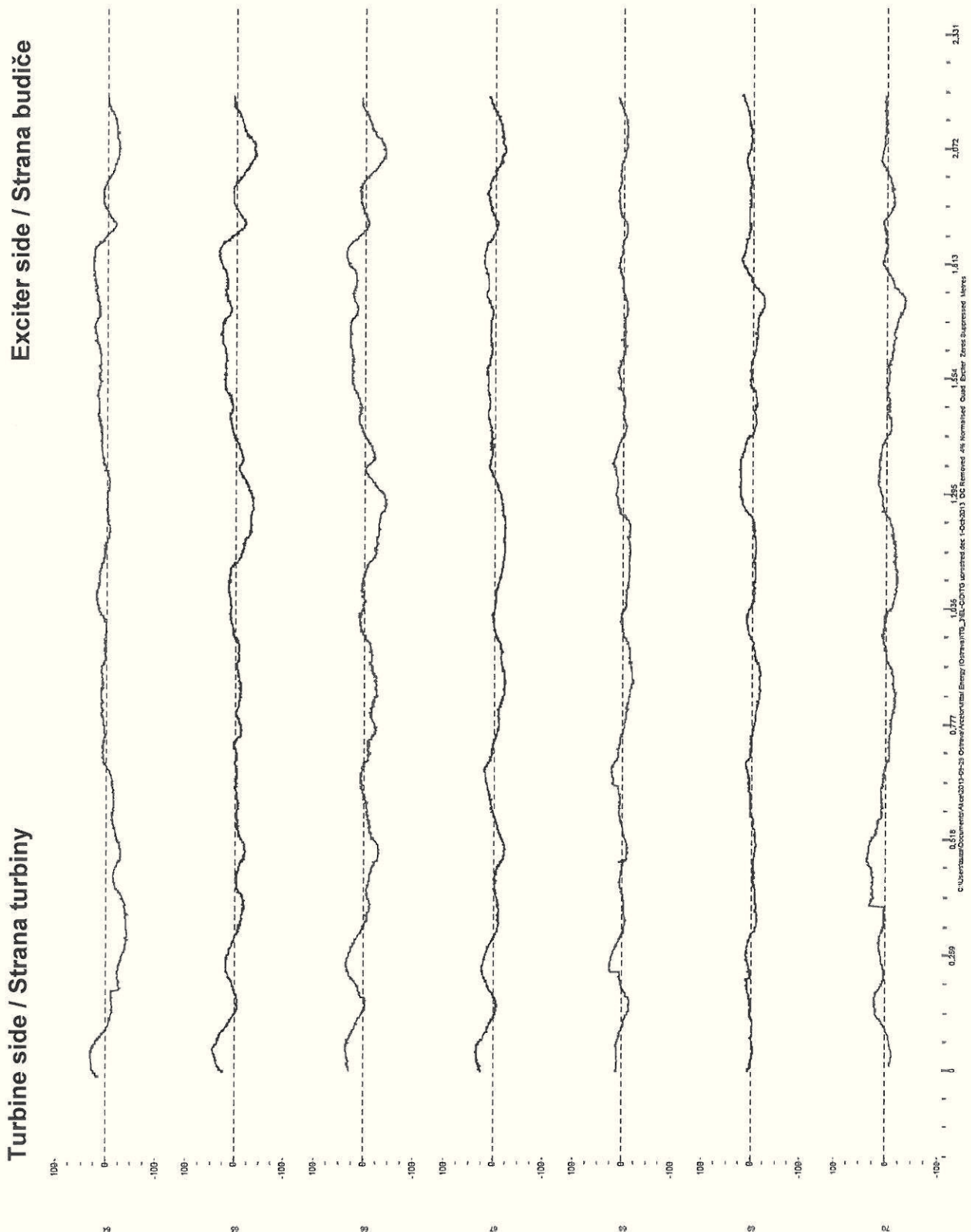
ALL RECORDED VALUES ARE IN SI UNITS UNLESS OTHERWISE STATED
Všechny uvedené hodnoty jsou v soustavě SI není-li určeno jinak.



2

BRUSH Quality Record <i>Protokol jakosti</i>	MAGNETIZATION TEST OF STATOR CORE BY EL CID / MAGNETIZAČNÍ ZKOUŠKA STATORU DETEKTOREM VAD ELEKTROMAG. JÁDRA EL CID			Doc. No. Dok. č.	COT-1-102		
				Issue Vydání	A		
Part Trace No. Identifikační označení	8H590782/2	Machine Serial No. Výrobní číslo stroje	051824	Page Strana	11	of z	13
Procedure Reference Předpis	PZ 04248 /	Acceptance Criteria Kritéria přípustnosti	PZ 04248	Date Datum	29-09-2013		
Manufactured At Název společnosti	BRUSH SEM s.r.o.	Manufacturer's Data Zakázk. č./Č. protokol.	371080 / A00352	Name Jméno	Zůza, Batěk		

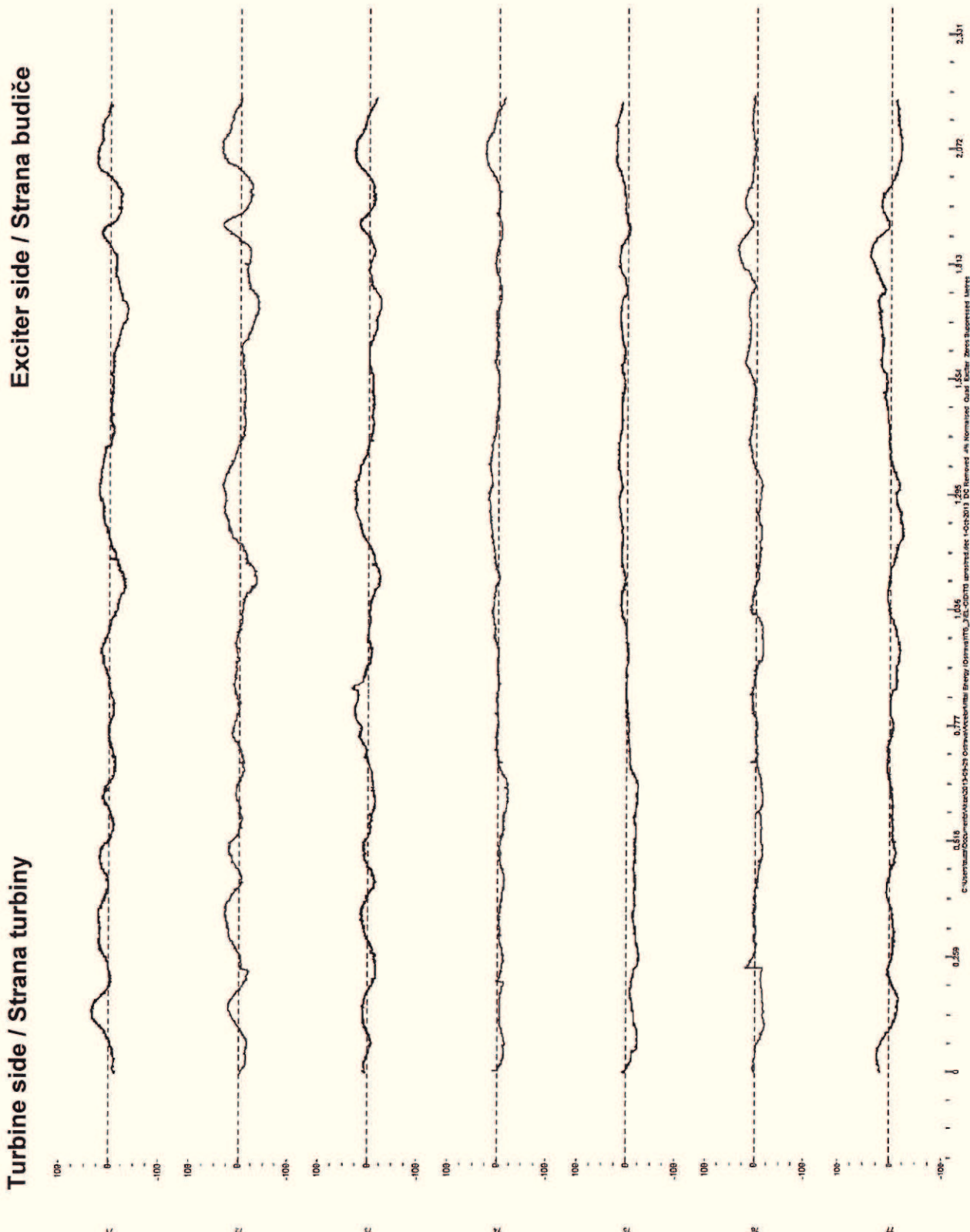
ALL RECORDED VALUES ARE IN SI UNITS UNLESS OTHERWISE STATED
Všechny uvedené hodnoty jsou v soustavě SI není-li určeno jinak.



2.

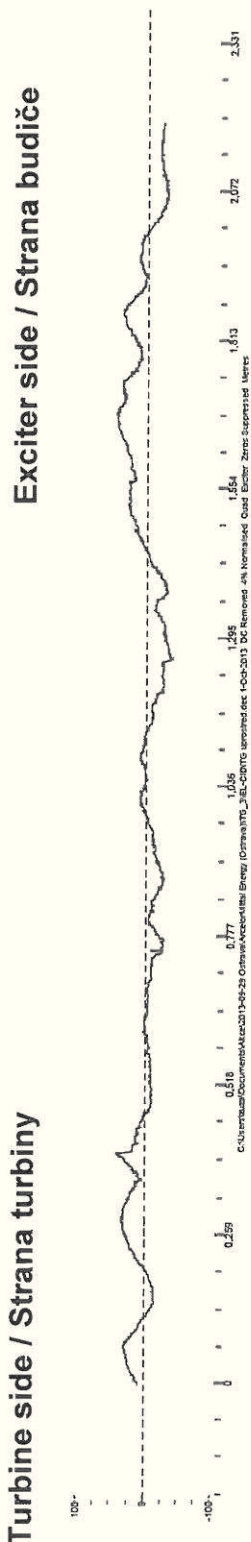
BRUSH Quality Record <i>Protokol jakosti</i>	MAGNETIZATION TEST OF STATOR CORE BY EL CID / MAGNETIZAČNÍ ZKOUŠKA STATORU DETEKTOREM VAD ELEKTROMAG. JÁDRA EL CID			Doc. No. <i>Dok. č.</i>	COT-1-102		
				Issue <i>Vydání</i>	A		
Part Trace No. <i>Identifikační označení</i>	8H590782/2	Machine Serial No. <i>Výrobní číslo stroje</i>	051824	Page <i>Strana</i>	12	of <i>z</i>	13
Procedure Reference <i>Předpis</i>	PZ 04248 /	Acceptance Criteria <i>Kritéria přípustnosti</i>	PZ 04248	Date <i>Datum</i>	29-09-2013		
Manufactured At <i>Název společnosti</i>	BRUSH SEM s.r.o.	Manufacturer's Data <i>Zakázka. č./Č. protokol.</i>	371080 / A00352	Name <i>Jméno</i>	Zůza, Batěk		

ALL RECORDED VALUES ARE IN SI UNITS UNLESS OTHERWISE STATED
 Všechny uvedené hodnoty jsou v soustavě SI není-li určeno jinak.



BRUSH Quality Record <i>Protokol jakosti</i>	MAGNETIZATION TEST OF STATOR CORE BY EL CID / MAGNETIZAČNÍ ZKOUŠKA STATORU DETEKTOREM VAD ELEKTROMAG. JÁDRA EL CID			Doc. No. Dok. č.	COT-1-102		
				Issue Vydání	A		
Part Trace No. Identifikační označení	8H590782/2	Machine Serial No. Výrobní číslo stroje	051824	Page Strana	13	of z	13
Procedure Reference Předpis	PZ 04248 /	Acceptance Criteria Kritéria přípustnosti	PZ 04248	Date Datum	29-09-2013		
Manufactured At Název společnosti	BRUSH SEM s.r.o.	Manufacturer's Data Zakázk. č./Č. protokol.	371080 / A00352	Name Jméno	Zůza, Batěk		

ALL RECORDED VALUES ARE IN SI UNITS UNLESS OTHERWISE STATED
Všechny uvedené hodnoty jsou v soustavě SI není-li určeno jinak.



PŘÍLOHA 1.2

Diagnostika teplotního stavu stroje

BRUSH	Diagnostic measurement / Diagnostické měření		Meas. No. / Měření č.: D12
Quality Record Protokol jakosti	Customer - Exam place / Zákazník - Místo zkoušky: Ostrava ArcelorMittal TG3		Page / Strana: 1 of 4 z
Machine No./ Výrobní číslo:	Stator: 051824	Rotor: E 5684	Issue / Vydání: A
Doc. No. / Dok. č.:	A00392		
Manufacture / Název společnosti:	BRUSH SEM s.r.o.	Measured by / Měřil: Ing. Zůza Martin	Date / Datum: 15.12.2013

MĚŘENÍ D12 TEPLOTNÍ STAV STROJE KONTROLA PLYNOVÉHO, OLEJOVÉHO a VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách na straně D12/2-D12/4. Turbogenerátor pracoval v době měření na výkonové hladině 4.9 MW, 2.0 MVar.

1. VYHODNOCENÍ TEPLOTNÍHO STAVU STROJE

OTEPLENÍ VINUTÍ ROTORU TURBOGENERÁTORU

$\Delta t = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ při proudu rotoru 192 A

Hodnoty napětí a proudu rotoru byly odečteny v blokové dozorně elektro-velína. Pro stanovení oteplení vinutí byla použita hodnota studeného odporu $0.19210\text{ }\Omega/20^{\circ}\text{C}$ ze zkoušek rotoru ve vyvažovacím tunelu BRUSH SEM v roce 2013 po opravě rotoru.

OTEPLENÍ CHLADÍCÍHO VZDUCHU

$\Delta t = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$

Oteplení je stanoveno jako rozdíl průměrné provozní teploty vzduchu před chladiči a průměrné teploty za chladiči, které byly odečteny z měřicího systému na obrazovce v blokové dozorně.

TEPLOTY VINUTÍ A ŽELEZA TURBOGENERÁTORU

Teploty vinutí a železa stroje byly odečteny z provozního měřicího systému na obrazovce v blokové dozorně.

Naměřené hodnoty jsou uvedeny na straně D12/3-D12/4.

Turbogenerátor je po tepelné stránce bez závad. Naměřené a odečtené hodnoty jsou částečně zkesleny rozdílným časovým odečtem i přesto lze konstatovat, že odpovídají zatížení stroje.

2.

BRUSH	Diagnostic measurement / Diagnostické měření		Meas. No. / Měření č.: D12
Quality Record Protokol jakosti	Customer - Exam place / Zákazník - Místo zkoušky: Ostrava ArcelorMittal TG3		Page / Strana: 2 of z 4
Machine No./ Výrobní číslo:	Stator: 051824	Rotor: E 5684	Issue / Vydání: A
Doc. No. / Dok. č.:	A00392		
Manufacture / Název společnosti:	BRUSH SEM s.r.o.	Measured by / Měřil: Ing. Zůza Martin	Date / Datum: 15.12.2013

ELEKTRICKÉ VELIČINY			
MĚŘENÁ VELIČINA	KÓD	ROZMĚR	15.12.2013
Výkon činný	P	[MW]	4.9
Výkon jalový	Q	[MVA _r]	2
Napětí statoru	U ₁	[V]	6000
Proud statoru	I ₁	[A]	600
Účinník	cosφ	[-]	0.8
Napětí rotoru	U _{ROT}	[V]	45
Proud rotoru	I _{ROT}	[A]	192

Elektrické veličiny turbogenerátoru byly odečteny v elektro-blokové dozorňě.

Použitý přístroj:

Multimetr Fluke 115, SN 14681350
ADRE 408 DPSi, SN 13F01J60

BRUSH	Diagnostic measurement / Diagnostické měření		Meas. No. / Měření č.: D12
Quality Record Protokol jakosti	Customer - Exam place / Zákazník - Místo zkoušky: Ostrava ArcelorMittal TG3		Page / Strana: 3 of z 4
Machine No./ Výrobní číslo:	Stator: 051824	Rotor: E 5684	Issue / Vydání: A
Doc. No. / Dok. č.: A00392			
Manufacture / Název společnosti: BRUSH SEM s.r.o.	Measured by / Měřil: Ing. Zůza Martin		Date / Datum: 15.12.2013

MECHANICKÉ VELIČINY-Vibrace ložisek						
LOŽISKO	SMĚR	RYCHLOST V_{ef}		ADRE 408 B & N	BLOKOVÁ DOZORNA	
Turbína NT zadní	Horizontální	Σ	[mm/s]	1.06	-	-
	Vertikální	Σ	[mm/s]	1.23	0	-
	Axiální	Σ	[mm/s]	0.98	-	-
Turbogenerátor přední	Horizontální	Σ	[mm/s]	1.07	-	-
	Vertikální	Σ	[mm/s]	1.10	1	-
	Axiální	Σ	[mm/s]	1.08	-	-
Turbogenerátor zadní	Horizontální	Σ	[mm/s]	0.62	-	-
	Vertikální	Σ	[mm/s]	0.68	0	-
	Axiální	Σ	[mm/s]	1.69	-	-
Budič zadní	Horizontální	Σ	[mm/s]	1.15	-	-
	Vertikální	Σ	[mm/s]	0.53	-	-
	Axiální	Σ	[mm/s]	0.40	-	-

MECHANICKÉ VELIČINY-Teplota ložisek, tlak a teplota mazacího oleje			
MĚŘENÁ VELIČINA	ZNAČENÍ	ROZMĚR	15.12.2013
Teplota ložiska NT turbíny Přední	T	[°C]	72
Teplota ložiska NT turbíny Zadní	T	[°C]	81
Teplota ložiska turbogenerátoru Přední	T	[°C]	74
Teplota ložiska turbogenerátoru Zadní	T	[°C]	73
Teplota mazacího oleje - vstup	T	[°C]	40
Teplota mazacího oleje - výstup	T	[°C]	55
Tlak mazacího oleje do ložiska turbogenerátoru Zadní	P	[bar]	1,5

BRUSH	Diagnostic measurement / Diagnostické měření		Meas. No. / Měření č.: D12	
Quality Record Protokol jakosti	Customer - Exam place / Zákazník - Místo zkoušky: Ostrava ArcelorMittal TG3		Page / Strana: 4 of z 4	
Machine No./ Výrobní číslo:	Stator: 051824	Rotor: E 5684	Issue / Vydání: A	Doc. No. / Dok. č.: A00392
Manufacture / Název společnosti:	BRUSH SEM s.r.o.	Measured by / Měřil: Ing. Zůza Martin		Date / Datum: 15.12.2013

TEPLOTA VINUTÍ A ŽELEZA STATORU

MĚŘENÁ VELIČINA	ZNAČENÍ		ROZMĚR	15.12.2013		
	BRUSH	Ostrava		Provozní měření Dozorna	Plášť stroje	Svorkovnice
TA 13127A	-	I	[°C]	50	-	-
TA 13127B	-	II	[°C]	53	-	-
TA 13127C	-	III	[°C]	50	-	-
TA 13127D	-	IV	[°C]	54	-	-
TA 13127E	-	V	[°C]	54	-	-
TA 13127F	-	VI	[°C]	47	-	-
TA 13127G	-	VII	[°C]	49	-	-
TA 13127H	-	VIII	[°C]	46	-	-
TA 13127I	-	IX	[°C]	46	-	-
TA 13127J	-	X	[°C]	46	-	-
TA 13127K	-	XI	[°C]	48	-	-
TA 13127L	-	XII	[°C]	44	-	-
Teplý vzduch, přímé měření	-	XIII	[°C]	46 / 43	-	-
Studený vzduch strana turbíny, přímé měření	-	XIV	[°C]	38	-	-
Studený vzduch strana kroužků, přímé měření	-	XV	[°C]	36	-	-

20

PŘÍLOHA 1.3

Kontrola hřídelového a ložiskového napětí

BRUSH		CHECK OF SHAFT AND BEARING VOLTAGE / KONTROLA HŘÍDELOVÉHO A LOŽISKOVÉHO NAPĚTÍ		Doc. No. Dok. č.		COT-1-024	
Quality Record Protokol jakosti				Issue Vydání		A	
Part Trace No. Identifikační označení	Škoda 8H590782/2	Machine Serial No. Výrobní číslo stroje	051768	Page Strana	1	of z	2
Procedure Reference Předpis	-	Acceptance Criteria Kritéria přípustnosti	-	Date Datum	21-JUL-13		
Manufactured At Název společnosti	BRUSH SEM s.r.o.	Manufacturer's Data Zakázk. č./Č. protok.	371080 / A00367	Name Jméno	Václav Šuma Edl Ondřej		

ALL RECORDED VALUES ARE IN SI UNITS UNLESS OTHERWISE STATED. / Všechny uvedené hodnoty jsou v soustavě SI není-li určeno jinak.

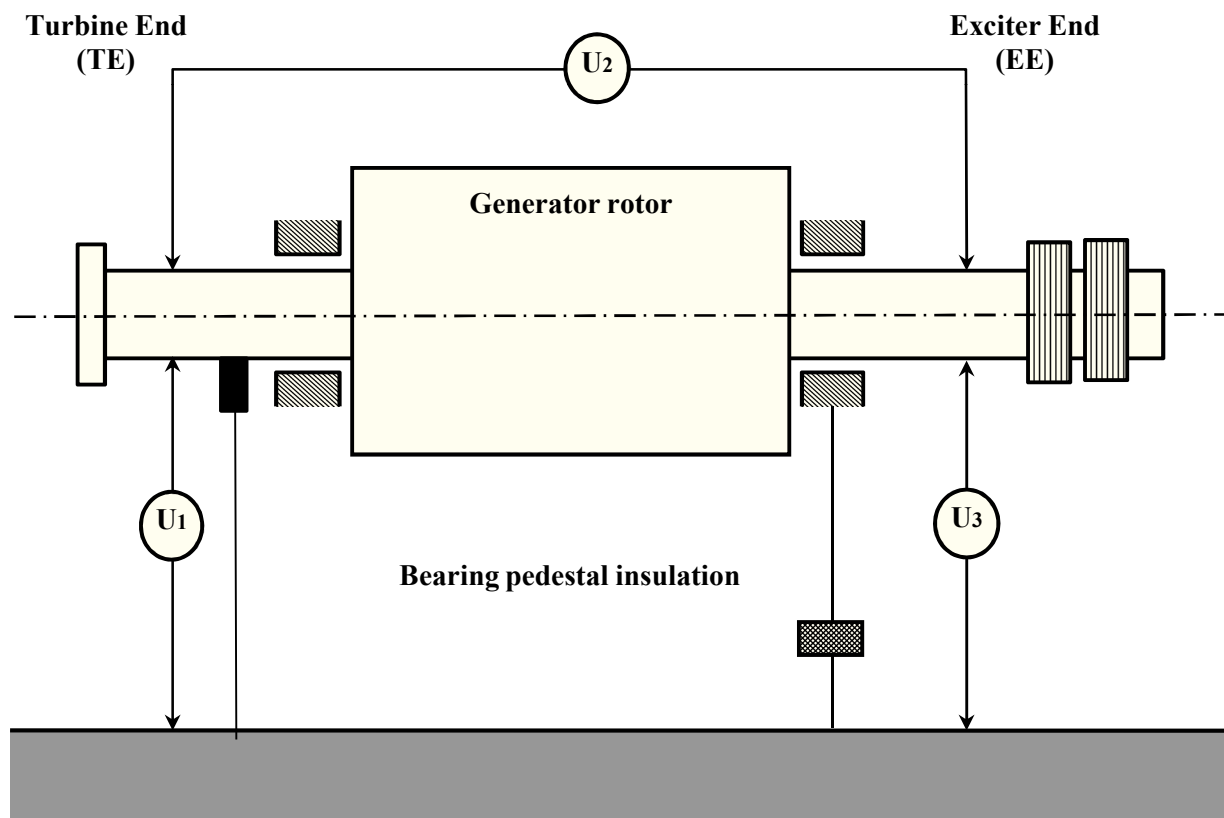
1	Operational values of open circuit measurement / Parametry při měření naprázdno
---	--

Stator voltage [V] / Statorové napětí [V]	Field voltage [V] / Budící napětí [V]	Field current [A] / Budící proud [A]	Revolutions [min ⁻¹] Otáčky [min ⁻¹]
63 000	165	600	3000


2	Shaft and bearing voltage / Hřídelové a ložiskové napětí
---	---

U ₁ [V]	U ₂ [V]	U ₃ [V]
0,021	2,010	1,966

3	Diagram / Diagram
---	------------------------------



All values within tolerance ranges specified in the acceptance criteria. Check the appropriate box. If the response is NO, please give details below. Všechny hodnoty jsou ve shodě s hodnotami uvedenými v kritériích přípustnosti. Označte odpovídající pole. Pokud je odpověď NE, uveďte do poznámky důvod.		YES ANO	X
		NO NE	
Comments Poznámky			

	CHECK OF SHAFT AND BEARING VOLTAGE / KONTROLA HŘÍDELOVÉHO A LOŽISKOVÉHO NAPĚTÍ			Doc. No. Dok. č.	COT-1-024			
				Issue Vydání	A			
Quality Record Protokol jakosti	Part Trace No. Identifikační označení	Škoda 8H590782/2	Machine Serial No. Výrobní číslo stroje	051768	Page Strana	2	of z	2
Procedure Reference Předpis	-	Acceptance Criteria Kritéria přípustnosti	-	Date Datum	21-JUL-13			
Manufactured At Název společnosti	BRUSH SEM s.r.o.	Manufacturer's Data Zakázk. č./Č. protokol.	371080 / A00367	Name Jméno	Václav Šuma Edl Ondřej			

ALL RECORDED VALUES ARE IN SI UNITS UNLESS OTHERWISE STATED. / Všechny uvedené hodnoty jsou v soustavě SI není-li určeno jinak.

<p align="center">Result of the test / Výsledek zkoušky</p> <p>The test was succesful, no defects were found, generator bearing insulation is satisfying. / Měření bylo úspěšné, nebyla nalezena žádná poškození, izolační odpor ložisek je uspokojivý.</p>

<p align="center">Measuring instruments / Použité měřicí přístroje</p>			
..... Multimeter (cal. 6/2014)	Type / Typ:	Fluke 115	No / Č. : 14681350
.....	Type / Typ:		No / Č. :
.....	Type / Typ:		No / Č. :

<p align="center">All values within tolerance ranges specified in the acceptance criteria. Check the appropriate box. If the response is NO, please give details below. Všechny hodnoty jsou ve shodě s hodnotami uvedenými v kritériích přípustnosti. Označte odpovídající pole. Pokud je odpověď NE, uveďte do poznámky důvod.</p>			YES ANO	X
			NO NE	
Comments Poznámky				

PŘÍLOHA 1.4

Měření izolačního odporu statorového vinutí

BRUSH		MEASURING OF INSULATION RESISTANCE OF STATOR WINDING / MĚŘENÍ IZOLAČNÍCH STAVŮ STATOROVÉHO VINUTÍ		Doc. No. Dok. č.	COT-7-020	
Quality Record Protokol jakosti				Issue Vydání	A	
Part Trace No. Identifikační označení	8H590782/2	Machine Serial No. Výrobní číslo stroje	051824	Page Strana	1	of z 1
Procedure Reference Předpis	PZ 03164, TI 0140	Acceptance Criteria Kritéria přípustnosti	PZ 03164, TI 0140	Date Datum	15.12.2013	
Manufactured At Název společnosti	BRUSH BEM Ltd.	Manufacturer's Data Zakáz. č./Č. protokol.	371080 / A00393	Name Jméno	Zůza M.	

ALL RECORDED VALUES ARE IN SI UNITS UNLESS OTHERWISE STATED. / Všechny uvedené hodnoty jsou v soustavě SI není-li určeno jinak.

Item / Položka:	Stator winding / Statorové vinutí	Pieces / Počet ks:	1	Drwg. No. / Číslo výkresu:	-
--------------------	-----------------------------------	-----------------------	---	-------------------------------	---

1	Insulation resistance of stator winding after machine assembly / Izolační odpor statorového vinutí po smontování stroje
---	--

Measuring voltage / Měřicí napětí: 5000 V Winding temperature / Teplota vinutí: 27 °C Ambient temperature / Teplota okolí: 28 °C

Results of the insulation resistance measurement / Naměřené hodnoty izolačních odporů:

Measured phase / Měřená fáze		Time / Čas [s]		
		15	60	600
Ris [GΩ]	U - \perp	1.9	8.2	47.8
	V - \perp	2.1	9	49.2
	W - \perp	2.16	8.03	47.5

Polarization index determination p_i (per 1 min and 10 min) / Naměřené hodnoty polarizačního indexu p_i

Measured phase / Měřená fáze	U	V	W
p_{i1} [-]	4.32	4.29	3.72
p_{i10} [-]	5.83	5.47	5.92

$$p_{i1} = \frac{R_{i260}}{R_{i15}} \quad p_{i10} = \frac{R_{i2600}}{R_{i260}}$$

Measuring instruments / Použité měřicí přístroje:							
.....IR meter / Měřič izolačního odporu..... Type / Typ: Megger S1-1054/2 No / Č.: EP 74							
All values within tolerance ranges specified in the acceptance criteria. Check the appropriate box. If the response is NO, please give details below. Všechny hodnoty jsou ve shodě s hodnotami uvedenými v kritériích přípustnosti. Označte odpovídající pole. Pokud je odpověď NE, uveďte do poznámky důvod.		<table border="1"> <tr> <td>YES</td> <td rowspan="2">X</td> </tr> <tr> <td>NO</td> </tr> <tr> <td>NE</td> <td></td> </tr> </table>	YES	X	NO	NE	
YES	X						
NO							
NE							
Comments Poznámky							

PŘÍLOHA 1.5

Měření vibrací ložisek při jmenovitém zatížení

BRUSH	Diagnostic measurement / Diagnostické měření		Meas. No. / Měření č.: D8
Quality Record Protokol jakosti	Customer - Exam place / Zákazník - Místo zkoušky: Ostrava ArcelorMittal TG3		Page / Strana: 1 of 10 z
Machine No. / Výrobní číslo:	Stator: 051824	Rotor: E 5684	Issue / Vydání: A
Manufacture / Název společnosti:	BRUSH SEM s.r.o.	Measured by / Měřil: Ing. Zůza Martin	Doc. No. / Dok. č.: A00389 Date / Datum: 15.12.2013

MĚŘENÍ D8	MĚŘENÍ VIBRACÍ LOŽISEK PŘI JMENOVITÉM ZATÍŽENÍ FREKVENČNÍ ANALÝZA VIBRACÍ
------------------	--

Ověření vibračního chování turbogenerátoru bylo provedeno měřicím systémem ADRE 408 DSPi, Bently Nevada.

Naměřené hodnoty vibrací ložisek turbogenerátoru jsou uvedeny v tabulkách na straně D4/2 a 3. Úroveň vibrací ložisek turbogenerátoru je nízká. Vibrační chování stroje je v souladu se zněním normy ČSN ISO 10816 hodnoceno jako velmi dobré.

Měření bylo provedeno na výkonové hladině $P = 4,9 \text{ MW}$, $Q = 2 \text{ MVar}$, $I_{\text{ROT}} = 192 \text{ A}$, $U_{\text{ROT}} = 45 \text{ V}$.

Výsledky frekvenční analýzy jsou uvedeny na straně D4/3-D4/11.

Hodnoty vibrací turbosoustrojí splňují podmínky pro stroje nově uváděné do provozu (pásmo A dle ČSN ISO 10816-2).

Amplitudy dalších frekvenčních složek, které se ve spektrech ložisek turbogenerátoru objevují jsou zanedbatelné a neovlivňují nízkou úroveň celkových vibrací ložisek.

Použité přístroje:

Měřicí systém ADRE 408 DSPi, Bently Nevada, výrobní číslo 13F01J60

Snímač vibrací Bently Nevada, výrobní číslo G12F01Y6

Snímač vibrací Bently Nevada, výrobní číslo G12H02NZ

Snímač vibrací Bently Nevada, výrobní číslo G12H0194

Snímač vibrací Bently Nevada, výrobní číslo G12H02NK

Snímač vibrací Bently Nevada, výrobní číslo G12H02JM

Snímač vibrací Bently Nevada, výrobní číslo G12H03R2

Snímač vibrací Bently Nevada, výrobní číslo G12H0186

Snímač vibrací Bently Nevada, výrobní číslo G12H018S

Snímač vibrací Bently Nevada, výrobní číslo G12H019A

Laserový otáčkový sensor Bently Nevada, v.č. 1020102-2012

23

BRUSH	Diagnostic measurement / Diagnostické měření		Meas. No. / Měření č.: D8
Quality Record Protokol jakosti	Customer - Exam place / Zákazník - Místo zkoušky: Ostrava ArcelorMittal TG3		Page / Strana: 2 of z 10
Machine No./ Výrobní číslo:	Stator: 051824	Rotor: E 5684	Issue / Vydání: A
Doc. No. / Dok. č.:	A00389		
Manufacture / Název společnosti:	BRUSH SEM s.r.o.	Measured by / Měřil: Ing. Zůza Martin	Date / Datum: 15.12.2013

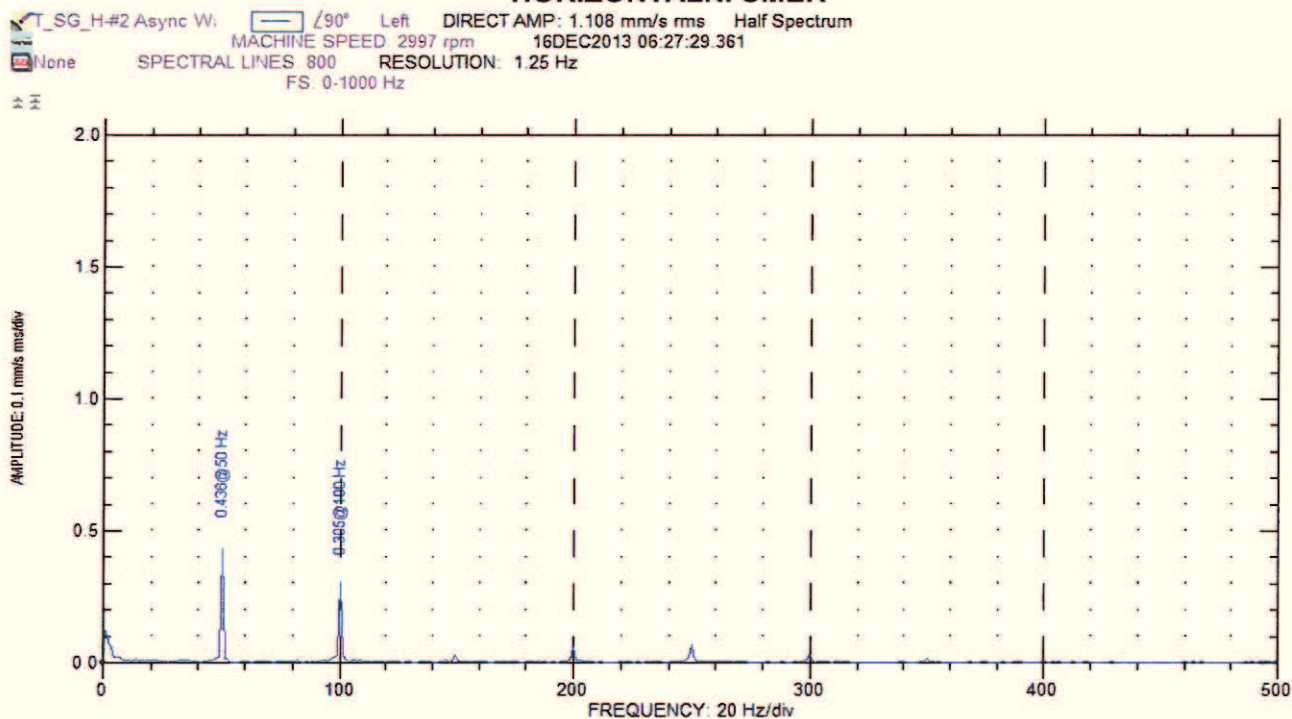
P [MW]	3
Q [MVar]	2
I _{ROT} [A]	192

RYCHLOST VIBRACÍ - v _{ef} rms						
LOŽISKO	SMĚR	Σ	1xf		2xf	
		[mm/s]	[mm/s]	[°]	[mm/s]	[°]
TURBÍNA NT ZADNÍ	H	0.52	0.37	133	0.18	135
	V	0.80	0.70	329	0.03	188
	A	0.73	0.61	124	0.30	58
GENERÁTOR PŘEDNÍ	H	0.84	0.77	132	0.17	279
	V	0.70	0.53	33	0.36	332
	A	0.65	0.53	304	0.31	229
GENERÁTOR ZADNÍ	H	0.04	0.14	148	0.29	163
	V	0.81	0.38	17	0.66	107
	A	0.99	0.13	88	0.90	145
BUDIČ ZADNÍ	H	1.11	0.28	331	0.58	71
	V	0.58	0.35	238	0.38	294
	A	0.32	0.10	161	0.23	270

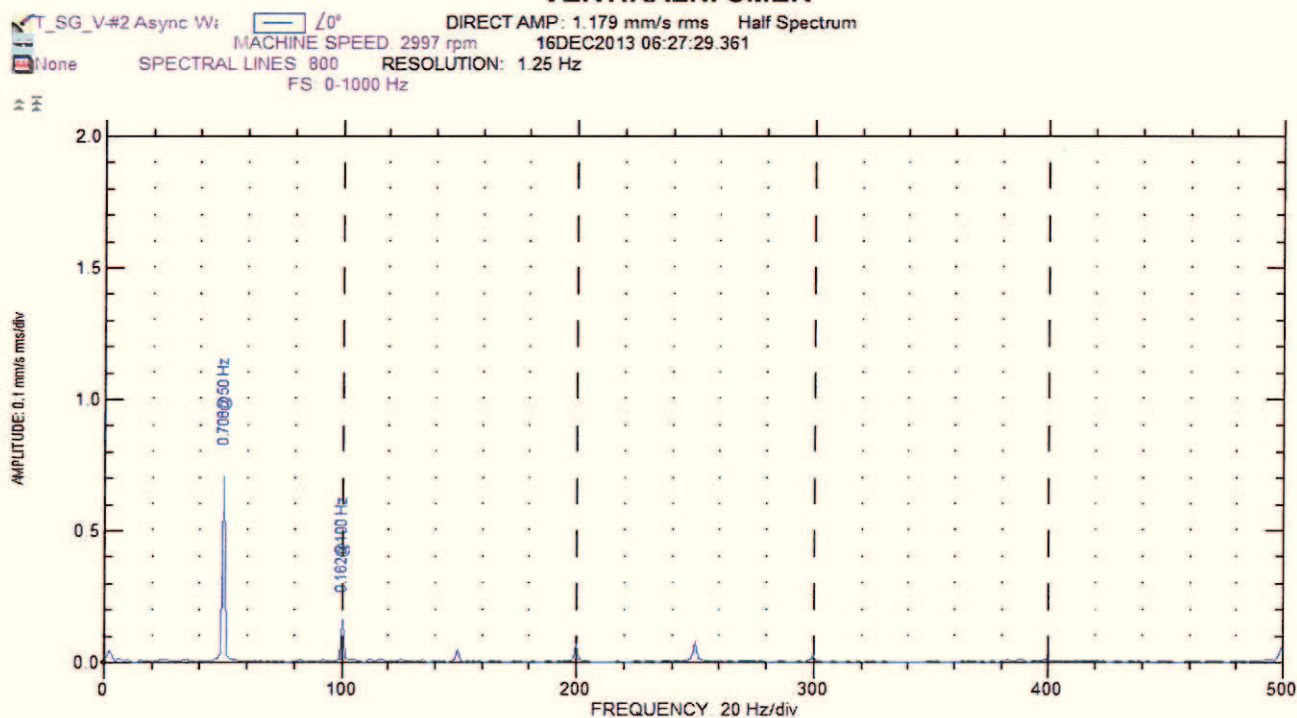
Elektrické veličiny byly odečteny na provozním digitálním přístroji v blokové dozorně.

BRUSH	Diagnostic measurement / Diagnostické měření		Meas. No. / Měření č.: D8
Quality Record Protokol jakosti	Customer - Exam place / Zákazník - Místo zkoušky: Ostrava ArcelorMittal TG3	Page / Strana: 3 of z 10	
Machine No./ Výrobní číslo: Stator: 051824 Rotor: E 5684	Issue / Vydání: A	Doc. No. / Dok. č.: A00389	
Manufacture / Název společnosti: BRUSH SEM s.r.o.	Measured by / Měřil: Ing. Zůza Martin	Date / Datum: 15.12.2013	

TURBÍNA NT ZADNÍ HORIZONTÁLNÍ SMĚR

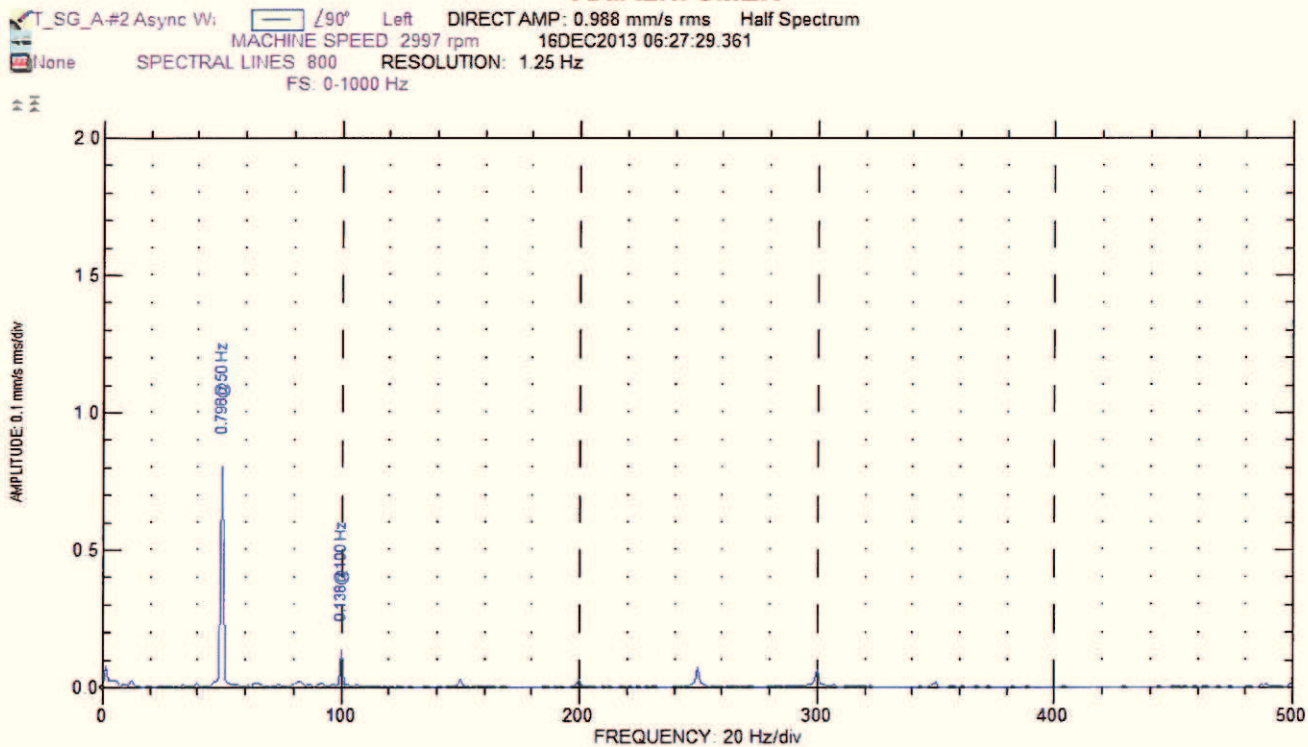


TURBÍNA NT ZADNÍ VERTIKÁLNÍ SMĚR



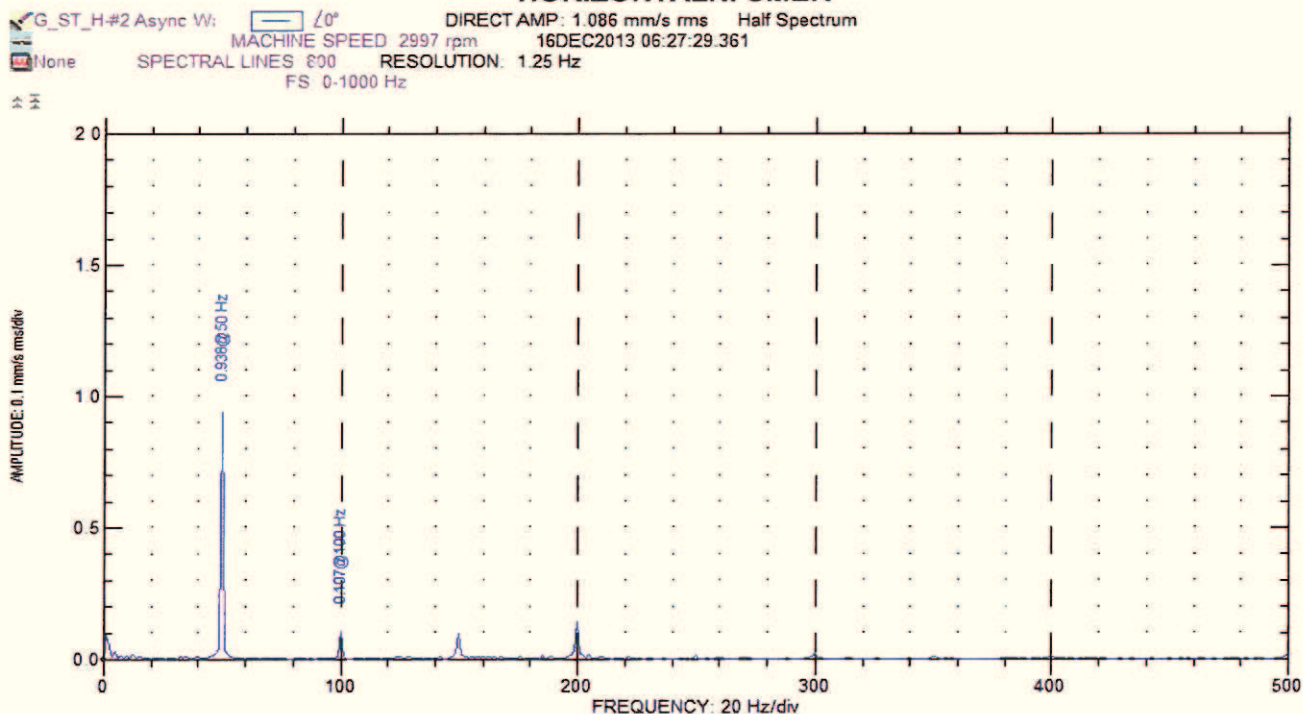
BRUSH	Diagnostic measurement / Diagnostické měření		Meas. No. / Měření č.: D8
Quality Record Protokol jakosti	Customer - Exam place / Zákazník - Místo zkoušky: Ostrava ArcelorMittal TG3	Page / Strana: 4 of z 10	
Machine No./ Výrobní číslo:	Stator: 051824	Rotor: E 5684	Issue / Vydání: A
Doc. No. / Dok. č.: A00389			
Manufacture / Název společnosti: BRUSH SEM s.r.o.	Measured by / Měřil: Ing. Zůza Martin	Date / Datum: 15.12.2013	

TURBÍNA NT ZADNÍ AXIÁLNÍ SMĚR

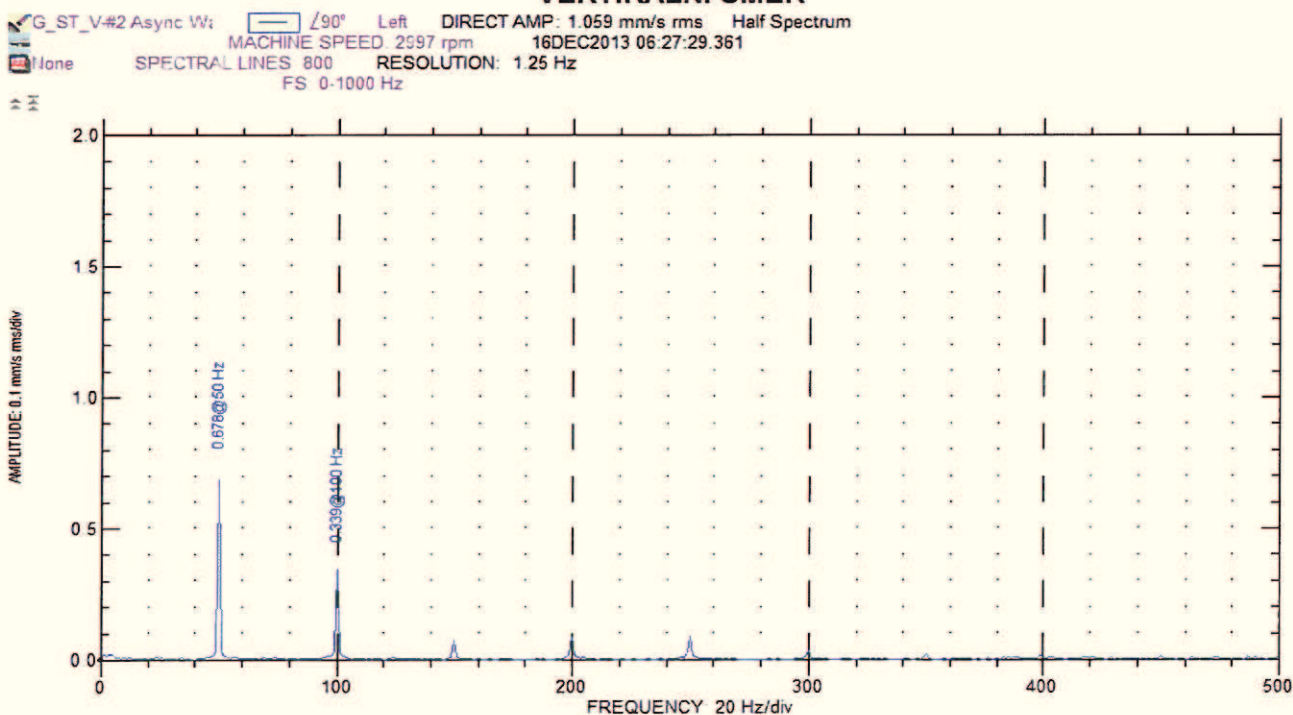


BRUSH	Diagnostic measurement / Diagnostické měření		Meas. No. / Měření č.: D8
Quality Record Protokol jakosti	Customer - Exam place / Zákazník - Místo zkoušky: Ostrava ArcelorMittal TG3	Page / Strana: 5 of 10	
Machine No./ Výrobní číslo: Stator: 051824	Rotor: E 5684	Issue / Vydání: A	Doc. No. / Dok. č.: A00389
Manufacture / Název společnosti: BRUSH SEM s.r.o.	Measured by / Měřil: Ing. Zůza Martin	Date / Datum: 15.12.2013	

GENERÁTOR PŘEDNÍ HORIZONTÁLNÍ SMĚR



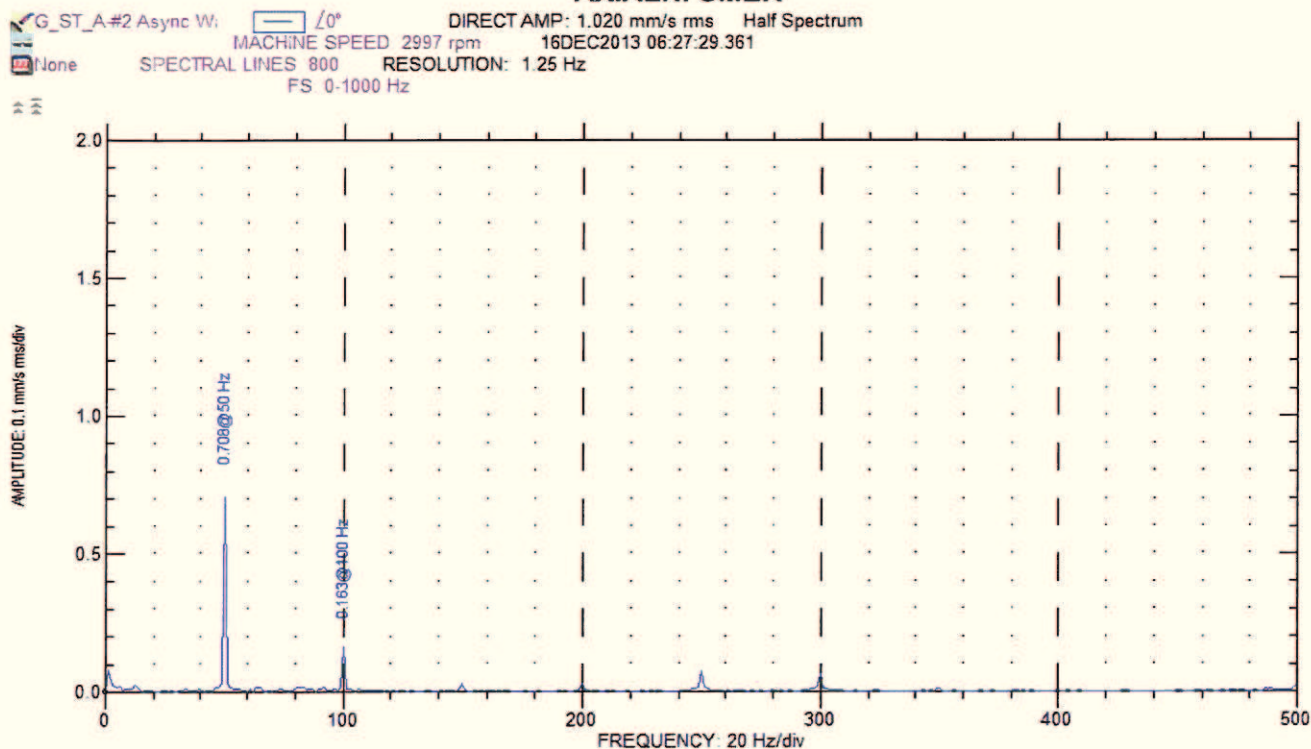
GENERÁTOR PŘEDNÍ VERTIKÁLNÍ SMĚR



20

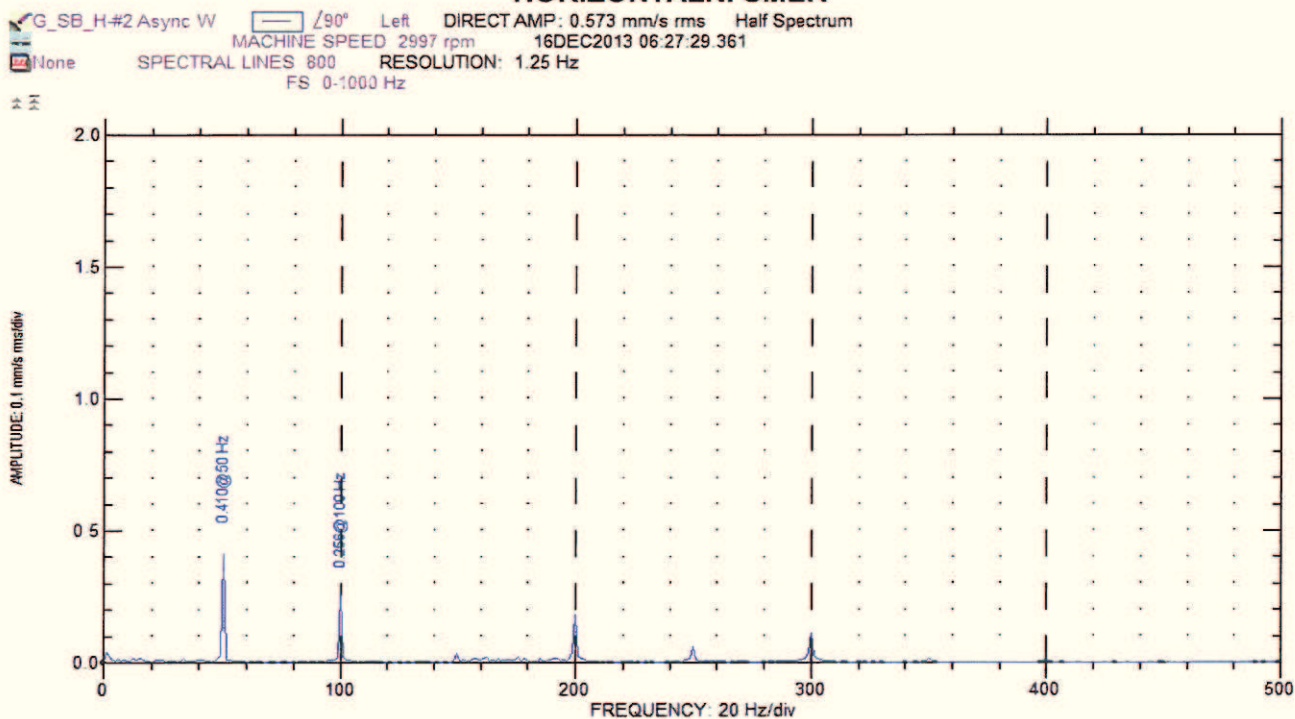
BRUSH	Diagnostic measurement / Diagnostické měření		Meas. No. / Měření č.: D8
Quality Record Protokol jakosti	Customer - Exam place / Zákazník - Místo zkoušky: Ostrava ArcelorMittal TG3	Page / Strana: 6 of z 10	
Machine No./ Výrobní číslo: Stator: 051824 Rotor: E 5684	Issue / Vydání: A	Doc. No. / Dok. č.: A00389	
Manufacture / Název společnosti: BRUSH SEM s.r.o.	Measured by / Měřil: Ing. Zůza Martin	Date / Datum: 15.12.2013	

GENERÁTOR PŘEDNÍ AXIÁLNÍ SMĚR

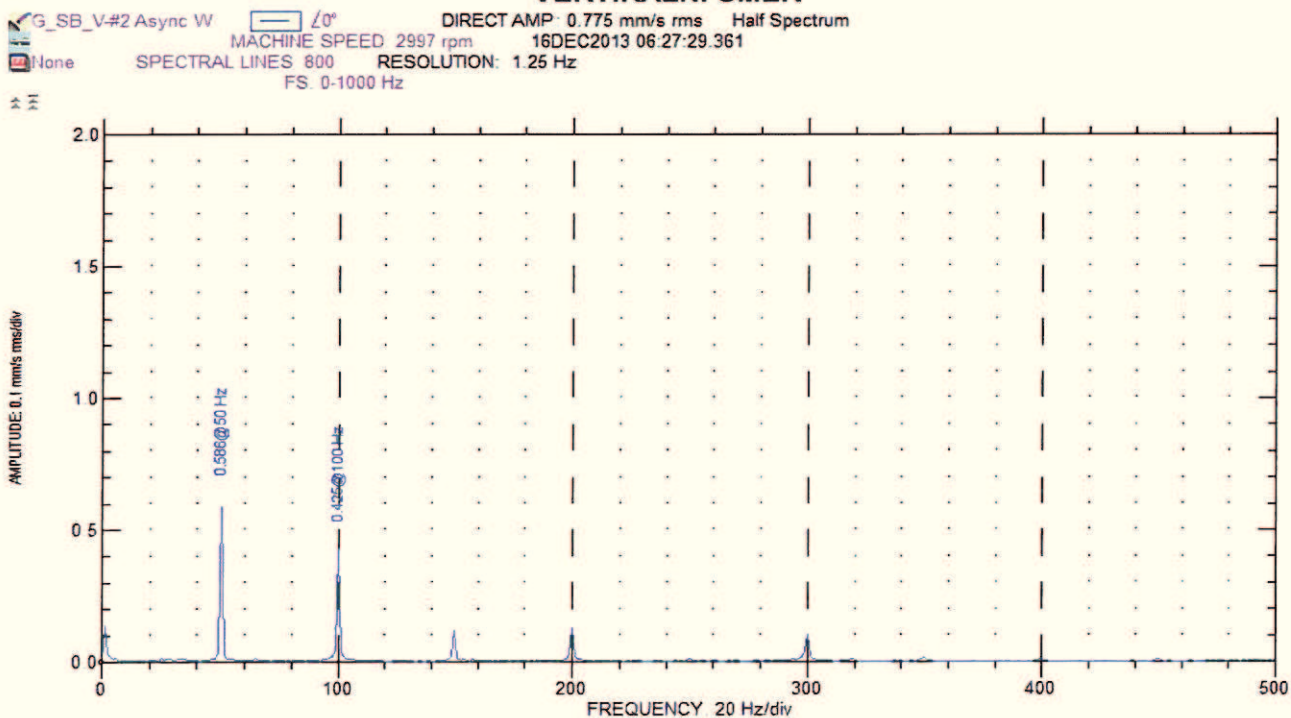


BRUSH	Diagnostic measurement / Diagnostické měření		Meas. No. / Měření č.: D8
Quality Record Protokol jakosti	Customer - Exam place / Zákazník - Místo zkoušky: Ostrava ArcelorMittal TG3		Page / Strana: 7 of 10 z
Machine No./ Výrobní číslo:	Stator: 051824	Rotor: E 5684	Issue / Vydání: A
Manufacture / Název společnosti:	BRUSH SEM s.r.o.	Measured by / Měřil: Ing. Zůza Martin	Doc. No. / Dok. č.: A00389
			Date / Datum: 15.12.2013

GENERÁTOR ZADNÍ HORIZONTÁLNÍ SMĚR

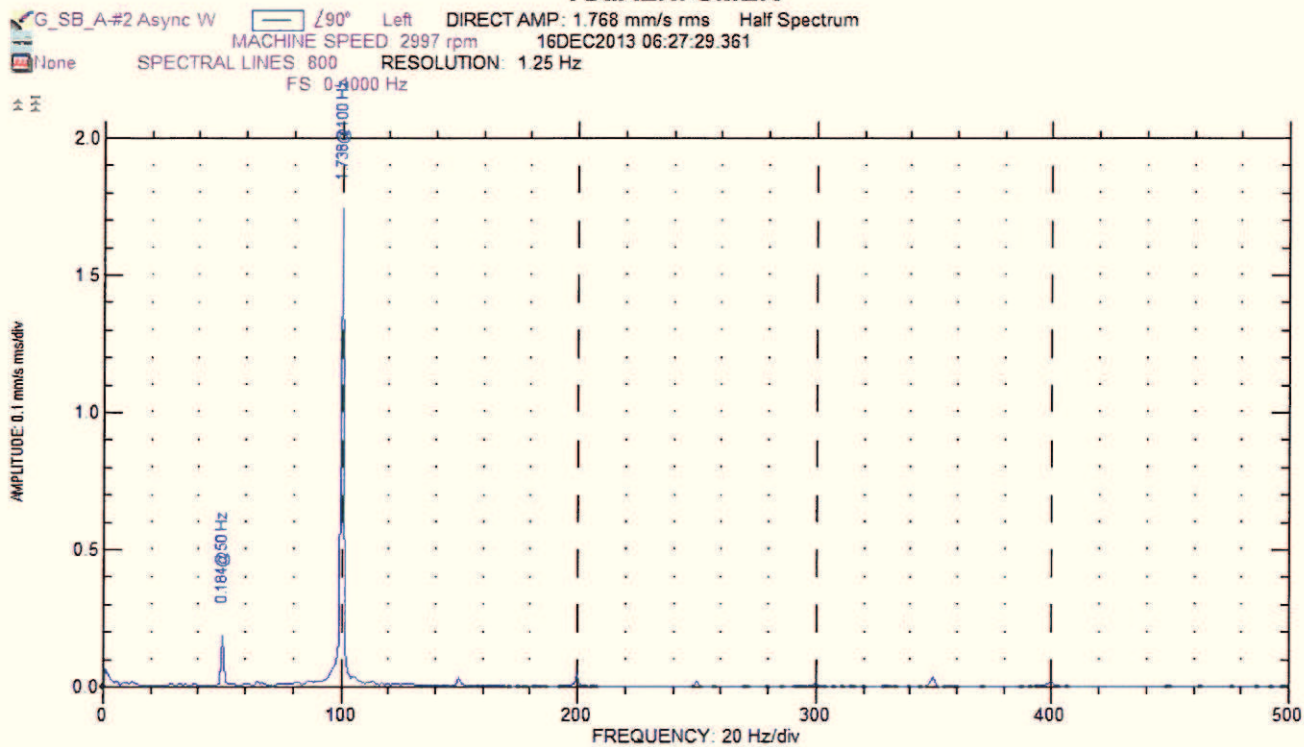


GENERÁTOR ZADNÍ VERTIKÁLNÍ SMĚR



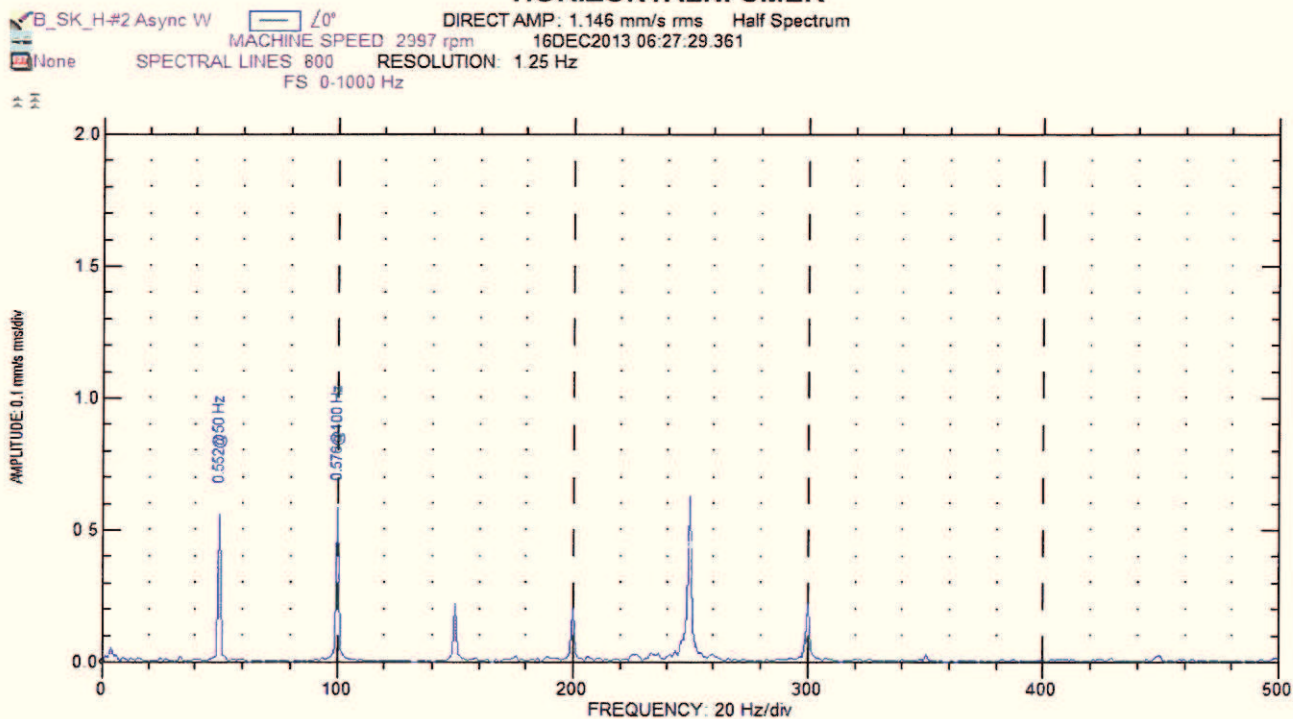
BRUSH	Diagnostic measurement / Diagnostické měření		Meas. No. / Měření č.: D8
Quality Record Protokol jakosti	Customer - Exam place / Zákazník - Místo zkoušky: Ostrava ArcelorMittal TG3		Page / Strana: 8 of z 10
Machine No./ Výrobní číslo:	Stator: 051824	Rotor: E 5684	Issue / Vydání: A
Manufacture / Název společnosti: BRUSH SEM s.r.o.	Measured by / Měřil: Ing. Zůza Martin		Doc. No. / Dok. č.: A00389
			Date / Datum: 15.12.2013

GENERÁTOR ZADNÍ AXIÁLNÍ SMĚR

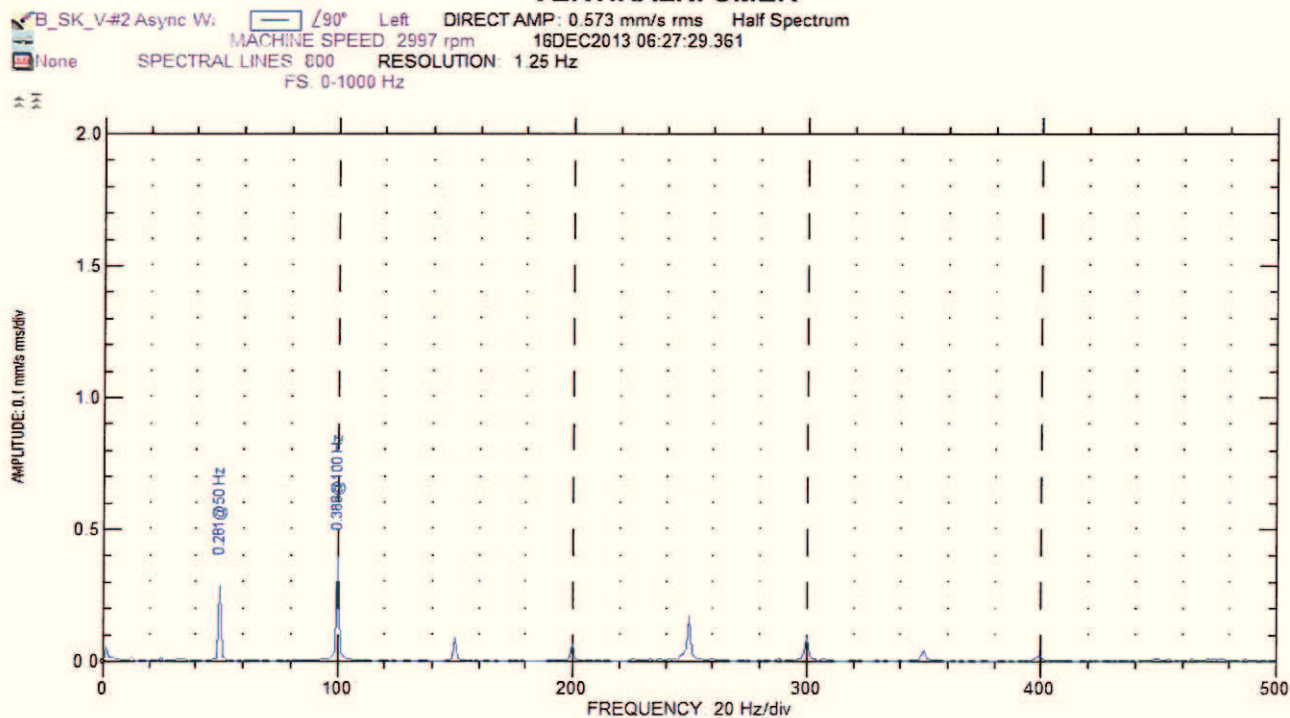


BRUSH	Diagnostic measurement / Diagnostické měření		Meas. No. / Měření č.: D8
Quality Record Protokol jakosti	Customer - Exam place / Zákazník - Místo zkoušky: Ostrava ArcelorMittal TG3	Page / Strana: 9 of z 10	
Machine No./ Výrobní číslo: Stator: 051824 Rotor: E 5684	Issue / Vydání: A	Doc. No. / Dok. č.: A00389	
Manufacture / Název společnosti: BRUSH SEM s.r.o.	Measured by / Měřil: Ing. Zůza Martin	Date / Datum: 15.12.2013	

BUDIČ ZADNÍ HORIZONTÁLNÍ SMĚR

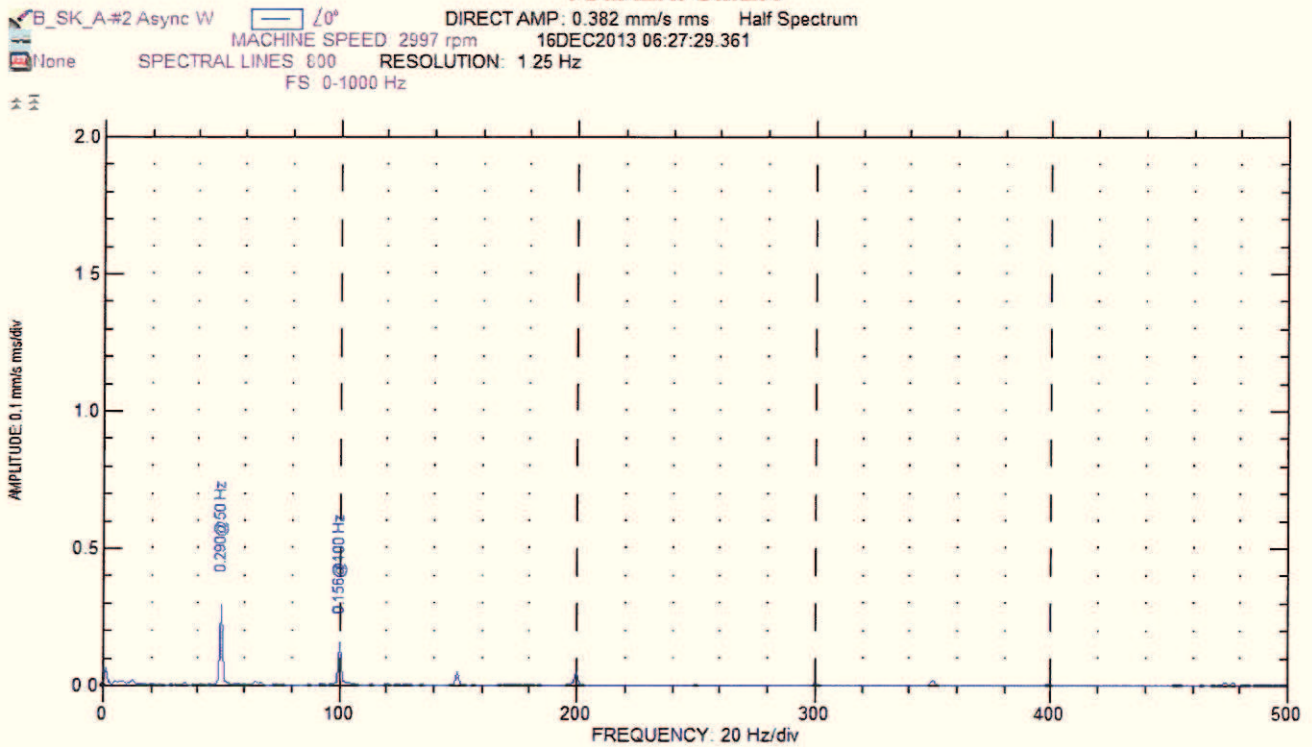


BUDIČ ZADNÍ VERTIKÁLNÍ SMĚR



BRUSH	Diagnostic measurement / Diagnostické měření		Meas. No. / Měření č.: D8
Quality Record Protokol jakosti	Customer - Exam place / Zákazník - Místo zkoušky: Ostrava ArcelorMittal TG3		Page / Strana: 10 of 10 z
Machine No./ Výrobní číslo:	Stator: 051824	Rotor: E 5684	Issue / Vydání: A
Manufacture / Název společnosti: BRUSH SEM s.r.o.	Measured by / Měřil: Ing. Zůza Martin		Doc. No. / Dok. č.: A00389
			Date / Datum: 15.12.2013

BUDIČ ZADNÍ AXIÁLNÍ SMĚR



2